INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA INTELIGENTE E NUTRIÇÃO

Aspectos tecnológicos, mercadológicos e ambientais na indústria de alimentos

ORGANIZADORES

ALEX FERNANDO DE ALMEIDA
GLÊNDARA APARECIDA DE SOUZA MARTINS
MICHELLE DA CUNHA ABREU XAVIER

Editora Poisson

Alex Fernando de Almeida
Glêndara Aparecida de Souza Martins
Michelle da Cunha Abreu Xavier
Organizadores

Indústria alimentícia inteligente e nutrição:

Aspectos tecnológicos, mercadológicos e ambientais na indústria de alimentos

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Ms. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Comitê Científico
Caroline Roberta Freitas Pires (UFT)
Patricia Martins Guarda (UFT)
Adriana Régia Marques de Souza (UFG)
Aroldo Arévalo Pinedo (UFT)
Adriene Ribeiro Lima (UFF)
Clarissa Damiani (UFG)
Sergio Andres Villalba Morales (UFT)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I42
Indústria alimentícia inteligente e nutrição: aspectos tecnológicos, mercadológicos e ambientais na indústria de alimentos/ Organização: Alex Fernando de Almeida, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Michelle da Cunha Abreu Xavier
Belo Horizonte - MG: Editora Poisson - 2025

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-532-8
DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Tecnologia de Alimentos 2. Alimentos 3. Indústria Alimentícia I. ALMEIDA, Alex Fernando de II. MARTINS, Glêndara Aparecida de Souza III. XAVIER, Michelle da Cunha Abreu IV. Título

CDD-664.005

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

Organizadores

Alex Fernando de Almeida:

Professor Associado do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi-TO. Graduado em Licenciatura e Bacharelado Em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Herminio Ometto de Araras (2001), mestrado (2007) e doutorado (2012) em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP. Entre as atividades administrativas executadas compreendem: Vice-coordenador do Programa de Mestrado em Biotecnologia (2014-2015). Vice-coordenador do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia (2015-2017). Presidente do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia (2015-2017). Membro do comitê interno do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC-CNPq/UFT (2014-2021). Membro do Comitê Gestor de Implantação da HABITE - Incubadora de Empresas de Biotecnologia (2015-2018). Coordenador Executivo da Habite - Incubadora de Empresas de Biotecnologia da UFT (11/2018 - 03/2020). Membro do Núcleo Docente Estruturante do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia (05/2015 - 08/2021). Membro do Projeto de Ação, Desenvolvimento e Inovação INOVAGURUPI (2015-2022). Membro do Conselho Municipal de Ciências, Tecnologia, Inovação e Empreendedorismo de Gurupi-TO (2018-2021). Atualmente é Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (11/2016 - 10/2020; 11/2020 - atual). Coordenador do Laboratório de Análise de Alimentos e Produtos - LABAP (início 11/2018). Docente orientador na criação da Empresa Júnior Petri Júnior (2023-2025). Orientador da Empresa Júnior Petri Júnior (2025-atual). Líder do Grupo de Pesquisa CNPq Enzimas Microbianas e Bioprocessos. Tem experiência na área de Microbiologia Aplicada, com ênfase em Microrganismos de Interesse Biotecnológico, Tecnologia Enzimática e Análise de Alimentos e Produtos. Atua principalmente nos seguintes temas: processos microbiológicos (cultivos microbianos e enriquecimento nutricional de biomassas), processos enzimáticos (produção, purificação, imobilização e caracterização de enzimas microbianas).

Glêndara Aparecida de Souza Martins:

Possui Graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2007) e Graduação em Matemática pelo Centro Universitário Claretiano (2014), Mestrado em Ciências dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras (2009) e Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins (2014). Possui Pós Doutorado pelo Institut Agrocampus Ouest (França) com ênfase em Ciência e Tecnologia do Leite e do Ovo. Atua como coordenadora no grupo de pesquisa Modelagem Cinética e Avaliação de Sistemas Alimentares e Biotecnológicos (UFT), visando o aproveitamento integral de frutos nativos do Cerrado e da Amazonia Legal. Atualmente é professora associada do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins e é membro permanente do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins e do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia (PPG-BIONORTE), atuando nas áreas de desenvolvimento de novos produtos, bioprospecção de compostos bioativos, métodos verdes de extração, aproveitamento de resíduos oriundos da agricultura familiar e biotecnologia de alimentos.

Coordenadora do Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LACIMP) (2009 atual), onde orienta alunos de graduação (TCC e iniciação cientifica), mestrado e doutorado, e supervisiona bolsista de pós doutorado. Dentre as atividades administrativas destaca-se a atuação como Vice Diretora do Câmpus de Palmas (2021 atual), atuando também como Vice - Coordenadora do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA UFT) (2017 - 2022) e é Coordenadora de Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos (2021 atual). É Membro do comitê interno do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC-CNPq/UFT e do Comitê de Avaliação de Propriedade Intelectual (COAPI UFT). Publicou vários artigos em revistas especializadas de renome nacional e internacional, é revisor Ad Hoc de periódicos científicos nacionais e internacionais, e participa de inúmeros projetos de pesquisa e de cooperação, nacional e internacional. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em processos cinéticos, tecnologia de frutas, compostos bioativos, obtenção de novos ingredientes utilizando tecnologias limpas, estudo de matérias-primas nativas inexploradas da biodiversidade brasileira e desenvolvimento de novos produtos.

Michelle da Cunha Abreu Xavier:

Docente do Magistério Superior do Curso de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal do Tocantins (UFT). Docente do Magistério Superior do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na UFT (2018-2022). Doutora (2016) e Mestre (2011) em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP e Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins-UFT (2007). Atuou como Vice-coordenadora (2019-2020) e Presidente do Núcleo Docente Estruturante do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da UFT (2019-2021). Realizou parte do Doutorado como Visiting Scholar Student na University of California-Berkeley (UCB-USA) no Energy Biosciences Institute (EBI) (2014/2015) trabalhando na modificação genética de levedura oleaginosa, supreexpressão de genes e biologia molecular visando melhorar o acúmulo de lipídio pela levedura. Atualmente é Coordenadora do Laboratório de Bioprocessos e Catálise (LABIC) da Universidade Federal do Tocantins (UFT) e Coordenadora de Extensão e Cultura da UFT. Atua na área de biotecnologia/sustentabilidade com produção lipídios a partir do bagaço de cana-de-açúcar para produção de biocombustíveis; na utilização de biomassa lignocelulósica, principalmente a fração hemicelulósica, para a produção de produtos de valor agregado como ácido lático e na engenharia metabólica da levedura oleaginosa Lipomyces starkeyi para o aumento da produção de lipídios; na produção e imobilização de enzimas com ênfase na obtenção de frutosiltransferase (FTase) a partir de Aspergillus oryzae IPT-301 para produção de FOS (frutoligossacarídeos). Experiência no seguintes temas: Bioconversão de xilose, fermentação, microbiologia, utilização de hemicellulose para produção de substâncias de valor agregado, pré-tratamento de biomassa lignocelulósica, produção de ácido lático por Lactobacillus, levedura oleaginosa, produção de lipídios por levedura oleaginosa, engenharia metabólica, modificação genética de levedura, superexpressão de genes.

SUMÁRIO

Capítulo 1: A busca por saudabilidade aliada ao desenvolvimento de novos produtos com redução de açúcar: uma revisão bibliográfica sistemática 9

Leticia da Costa Matos, Rafaela Julyana Barboza Devos

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.01

Capítulo 2: Análise das estratégias de mudanças da nova rotulagem nutricional na rotina de consumidores brasileiros: uma revisão bibliográfica sistemática 26

Déborah Lorrany Pereira Galvão, Juliana Kossmann Barbosa, Rafaela Julyana Barboza Devos

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.02

Capítulo 3: Homogeneização de produtos a alta pressão: uma revisão sistemática 43

Yuri Vinicius da Silva, Alice Reis Figueiredo, Jucimara Silva, Karoliny Carvalho Lysike, Maria Luciana Barbosa Mendes, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Emerson Adriano Guarda, Patrícia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.03

Capítulo 4: Métodos analíticos para quantificação de biofilmes formados por microrganismos: uma revisão sistemática 54

Antonio José de Sousa Caminha, Kariny Oliveira da Silva, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos, Patrícia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.04

Capítulo 5: Identificação de cepas de *Listeria monocytogenes* formadoras de biofilmes isoladas em alimentos prontos para consumo no Tocantins 63

Antonio José de Sousa Caminha, Nayane Teixeira Pereira, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos, Patrícia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.05

Capítulo 6: Impactos da oxidação lipídica na preservação e segurança dos produtos alimentícios 69

Maria de Morais Lima, Lorena Limão Vieira dos Santos, Guilherme Borges Ferreira, Emerson Adriano Guarda, Patricia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.06

Capítulo 7: Hidrolisado proteico de resíduos da pesca: transformando desperdício em fontes valiosas de bioativos 83

Maria de Morais Lima, Lorena Limão Vieira dos Santos, Guilherme Borges Ferreira, Emerson Adriano Guarda, Patricia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Conservação de maçã minimamente processada através de filmes e revestimentos comestíveis à base de amido do babaçu 97

Zilda Doratiotto de Salles Arevalo, Abigail Lima de Oliveira, Domynique Batista Barbosa, Fábio Salles de Arévalo

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.08

Capítulo 9: Principais metodologias utilizadas para analisar o perfil de compostos fenólicos em suco de fruta: uma revisão sistemática 104

Jucimara Silva, Elisangela Santos Reis de Oliveira, Emerson Adriano Guarda, Maria Luciana Barbosa Mendes, Yuri Vinicius da Silva, Alice Reis Figueiredo, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Patrícia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.09

Capítulo 10: Métodos de remoção de compostos fenólicos em produtos vegetais liquidos: uma revisão sistemática 115

Jucimara Silva, Emerson Adriano Guarda, Luiz Sinésio Neto, Janeisi de Lima Meira, Renata JunqueiraPereira, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Patrícia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.10

Capítulo 11: Desenvolvimento e armazenamento de geleia de guapeva (*Pouteria gardneriana*) em embalagens de polietileno sob diferentes temperaturas 124

Romulo Alves Morais, Vitória Cristian Carneiro Santos, Camila Mariane da Silva Soares, Glendara Aparecida de Souza Martins

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.11

Capítulo 12: Índices de identidade e qualidade de óleos extraídos da polpa do puçá preto (*Mouriri pusa*) e parâmetros antinutricionais 134

Romilda Ramos da Silva, Maria Eduarda Silva Motta, Gabriela Fonseca Leal, Romulo Alves Morais, Glêndara Aparecida de Souza Martins

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.12

Capítulo 13: Avaliação do teor alcoólico em fermentações realizadas por leveduras não-*saccharomyces*: uma revisão sistemática 143

Karoliny Carvalho Lysike, Yuri Vinicius da Silva, Alice Reis Figueiredo, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.13

SUMÁRIO

Capítulo 14: Principais metodologias analíticas aplicadas para a caracterização do fruto rambutan (*Nephelium lappaceum L.*): uma revisão sistemática 154

Alice Reis Figueiredo, Yuri Vinicius da Silva, Karoliny Carvalho Lysike, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Jucimara Silva, Emerson Adriano Guarda, Patrica Martins Guarda, Clarrissa Damiani

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.14

Capítulo 15: Revisão sistemática sobre o uso de conservantes sintéticos em alimentos: tendências e alternativas naturais..... 167

Roseline Soares Sousa, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Maria Luciana Barbosa Mendes, Emerson Adriano Guarda, Patricia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.15

Capítulo 16: Síntese de biocatalisadores para produção de açúcares prebióticos utilizando impressão 3D..... 182

Joicy Silva e Silva, Kauã M. de Oliveira, Valéria P. da Silva, Kalil G. Kanuto, Gabriela E. Lacerda, Maximilian J. Hodapp, Rafael F. Perna, Warley G. da Silva, Michelle C. A. Xavier, Sergio A. V. Morales

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.16

Capítulo 17: Otimização da extração de compostos fenólicos de subprodutos de uva e jabuticaba utilizando solventes 188

Geovana Marinho do Prado, Maria Olivia dos Santos Oliveira, Glêndara Aparecida de Souza Martins

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.17

Capítulo 18: Avaliação do potencial nutricional de farinhas de subprodutos de uva, jabuticaba e hibisco 200

Maria Olivia dos Santos Oliveira, Geovana Marinho do Prado, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Eduardo Ramirez Asquieri

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.18

Capítulo 19: Determinação da atividade antioxidante em pães enriquecidos com sapucaia..... 215

Maria Luciana Barbosa Mendes, Yuri Vinicius da Silva, Jucimara Silva, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Douglas Martins da Costa, Caroline Roberta Freitas Pires, Emerson Adriano Guarda, Patrícia Martins Guarda

DOI: 10.36229/978-65-5866-532-8.CAP.19

CAPÍTULO

01 A busca por saudabilidade aliada ao desenvolvimento de novos produtos com redução de açúcar: uma revisão bibliográfica sistemática

Leticia da Costa Matos, Rafaela Julyana Barboza Devos

1. INTRODUÇÃO

O sabor doce desempenha um papel significativo na culinária da cultura brasileira, sendo um elemento essencial utilizado em diversas receitas tradicionais como brigadeiros, rapaduras, bolos, pé de moleque, cocada, entre outros. O sabor doce desenvolveu-se ao longo da história da humanidade e deu origem à confeitaria, elevando o açúcar a um dos insumos mais valorizados durante a Idade Média e tornando-o comum em eventos que envolvem alimentação, especialmente devido às sobremesas (MATOS; MARQUES, 2019). No entanto, o consumo frequente e excessivo de açúcar pode acarretar significativos prejuízos à saúde.

A aceitação de produtos com redução de açúcar tem despertado considerável interesse entre pesquisadores e indústria de alimentos, visando combater o consumo excessivo de sacarose. Negami (2021) elaborou paçocas de amendoim com redução de açúcar, utilizando o edulcorante xilitol como substituto. A aceitação sensorial foi determinada por análise sensorial com provadores adultos de ambos os sexos, de idade média de 35 anos. As amostras foram variadas em termos de quantidade de xilitol, desde o mínimo até o máximo possível, resultando na conclusão de que a substituição do açúcar por xilitol em grandes quantidades alterou tanto as características físicas quanto sensoriais da paçoca. Concluiu-se que a utilização do xilitol como substituto deve ser limitada a, no máximo, 25% para garantir a aceitabilidade do produto, indicando ser uma estratégia eficaz.

Uma estratégia de desenvolvimento de novos produtos é o emprego de ingredientes regionais visando a produção de alimentos saudáveis com melhor aceitação pelos consumidores. Ingredientes regionais do cerrado brasileiro como buriti, cupuaçu e jatobá vêm sendo estudados por diversos autores, devido ao potencial econômico promissor para desenvolvimento regional (GUÉNEAU et al., 2020; OLIVEIRA, 2012; DIAS et al., 2019).

Estudos anteriores observaram que a farinha da casca de jatobá contém características bioativas com qualidades nutricionais e tecnológicas, de capacidade antioxidante, fenois e carotenoides, agregando na saúde de quem o consome (FILHO, 2019). No estudo do desenvolvimento de pães utilizando farinha de jatobá, mamão e banana observou-se alta concentração de antioxidantes, e de acordo com a composição centesimal, o pão pode ser considerado como fonte de proteínas, apresentando um índice de aceitabilidade sensorial de 70% (BORGES et al., 2023).

O buriti também é um fruto que possui elevado valor nutricional, rico em fibras e provitamina A, além de possuir atividades antibacterianas e medicinais, devido às características antioxidantes do fruto (CARVALHO; SANTOS, 2020). O cupuaçu é considerado um fruto de elevado valor nutricional, rico em vitamina C, propriedades

antioxidantes e compostos fenólicos, podendo ser um aliado à qualidade nutricional (DIAS et al., 2019). As características sensoriais de produtos utilizando cupuaçu foram avaliadas por Costa et al. (2022), observando aceitação sensorial e capacidades bioativas.

Diante do exposto, o artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sistemática que aborda o consumo de açúcar na saúde humana e a busca por saudabilidade aliada ao desenvolvimento de novos produtos com redução de açúcar. Para isso, foram abordados os seguintes tópicos: o consumo de açúcares em diferentes faixas etárias, a influência do estilo de vida individual no comportamento alimentar, o uso de adoçantes como substitutos de açúcares, o consumo de alimentos industrializados e a influência da rotulagem nutricional e o incentivo às pesquisas de desenvolvimento de produtos com redução do teor de açúcar. Este estudo busca preencher a lacuna existente na compreensão do impacto do consumo de açúcares e adoçantes na saúde humana, considerando as variáveis de idade e estilo de vida individual. Além disso, visa justificar a necessidade de promover e desenvolver produtos alimentícios que contribuam para uma alimentação mais saudável, minimizando os riscos associados ao consumo excessivo de açúcares.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo se baseou em uma revisão bibliográfica sistemática da literatura para examinar os impactos do consumo de açúcar na saúde humana e a busca por saudabilidade aliada ao desenvolvimento de novos produtos com redução de açúcares. A metodologia foi estruturada para identificar, analisar e sintetizar as informações disponíveis, empregando uma abordagem sistemática para garantir a abrangência e a relevância dos dados coletados.

A busca de estudos científicos foi realizada nas bases de dados Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Periódicos CAPES. Estes portais foram escolhidos devido à sua ampla acessibilidade e relevância para estudos acadêmicos na área da saúde e ciência de alimentos. Foram incluídos na busca os estudos publicados nos idiomas inglês e português, publicados entre os anos de 2004 até 2024, com um foco em pesquisas a partir de 2019 para garantir a atualidade das informações analisadas. Foram utilizados descritores como "consumo de açúcar", "açúcar na saúde", "hábitos alimentares", "rotulagem nutricional", "adoçantes", e "industrializados".

A pesquisa inicial nas bases de dados resultou na busca de aproximadamente 57 mil artigos. Uma triagem baseada em títulos e resumos foi realizada, seguida por uma análise detalhada dos textos completos dos artigos preliminarmente selecionados. Ao final deste processo de seleção, 68 artigos foram escolhidos para inclusão nesta revisão. Os critérios para seleção incluíram a acessibilidade gratuita dos textos completos e a relevância direta dos estudos ao objetivo e às lacunas identificadas na pesquisa. Estudos que não abordam explicitamente temas relacionados à alimentação foram excluídos, garantindo que a revisão se mantivesse estritamente alinhada aos tópicos essenciais ao escopo deste estudo.

Foi desenvolvida uma nuvem de palavras utilizando a Plataforma On-line WordArt (WORDART, 2024) para evidenciar a frequência dos termos mais citados na busca de anterioridade baseada nos artigos selecionados para compor a revisão bibliográfica, proporcionando elaborar uma discussão que contempla os tópicos de maior importância referente à temática da revisão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A nuvem de palavras (Figura 1) destaca os principais termos abordados nos artigos selecionados para compor a revisão, proporcionando uma visão geral dos tópicos mais discutidos na literatura relacionada ao consumo de açúcares. A análise da frequência dos termos revela que as pesquisas se concentram no estudo do impacto do consumo de açúcar na saúde, o que justifica a discussão central do artigo. Nesse sentido, a revisão buscou apresentar uma análise do consumo de açúcar entre os grupos etários. A frequência dos termos "rotulagem nutricional", "adoçantes" e "ultra processados" na busca de anterioridade destaca a necessidade de pesquisas que promovam uma análise criteriosa dos rótulos e composição de alimentos com apelo funcional, avaliando a veracidade das informações e a capacidade de entendimento pelo consumidor. Portanto, a revisão bibliográfica busca avaliar se a substituição de açúcares por adoçantes compromete a saúde individual, bem como analisar se a rotulagem nutricional influencia no consumo de alimentos industrializados. Os termos "educação nutricional" e "hábitos alimentares" apontam para a necessidade de promover ações de sensibilização e orientação para a melhoria do comportamento alimentar, promovendo uma alimentação adequada e saudável. Ademais, o estilo de vida individual pode estar relacionado com o comportamento alimentar, por isso a revisão visa destacar o potencial de ingredientes regionais no desenvolvimento de produtos com redução de açúcar.

Figura 1. Nuvem de palavras desenvolvida a partir dos termos frequentemente encontrados na busca de anterioridade sobre o tema.

Fonte: Autores, 2024

Neste cenário, a revisão bibliográfica buscou sintetizar as evidências científicas sobre os tópicos frequentemente citados e propor direções para futuras pesquisas e políticas públicas que incentivem práticas alimentares mais saudáveis, minimizando os riscos associados ao consumo excessivo de açúcares e potencializando o incentivo ao desenvolvimento de produtos com redução de açúcar.

3.1. A RELAÇÃO ENTRE O CONSUMO DE AÇÚCAR E OS GRUPOS ETÁRIOS

A sacarose, conhecida como açúcar de mesa, está disponível em várias formas, incluindo o açúcar refinado, o açúcar cristal (o mais consumido pela população brasileira), o açúcar mascavo, o açúcar invertido, o açúcar líquido, entre outros. A escolha de cada tipo de açúcar depende do uso pretendido, seja doméstico ou industrial, e cada variedade apresenta características específicas, bem como potenciais riscos quando consumida em excesso (MANHANI et al., 2014).

O consumo excessivo de açúcares é prevalente em todas as faixas etárias. No estudo conduzido por Lemos et al. (2021), foi identificada uma alta prevalência no consumo de bebidas açucaradas na primeira infância, atribuída ao excesso causado por uma introdução alimentar inadequada e às práticas alimentares dos pais, podendo comprometer a saúde da criança. A revisão de literatura conduzida por Kuhn, Merheb e García (2021) demonstra que maus hábitos alimentares, especialmente aqueles que resultam em obesidade infantil, acarreta problemas imediatos e a longo prazo na saúde, sendo o consumo excessivo de açúcares um dos principais fatores associados a esses problemas. Além disso, destaca-se que a disponibilidade e o acesso aos alimentos em casa, as práticas alimentares e o preparo das refeições desempenham um papel fundamental no consumo alimentar da criança, refletindo diretamente o comportamento dos pais.

O consumo excessivo de açúcares e bebidas adoçadas na primeira infância (do nascimento até os 6 anos) também contribui para o desenvolvimento e agravamento da cárie dentária, com consequências como interferência no crescimento e ganho de peso da criança. Isso ocorre porque a dor e a infecção resultantes da cárie dentária podem afetar o apetite, o sono e os processos metabólicos (SANTOS et al., 2016). De acordo com o Guia de Orientações para Alimentação Saudável, desenvolvido por Auad e Freire-Maia (2021) é recomendado que bebês (do nascimento até 2 anos) não consomem açucar até os dois anos de idade, pois isso pode condicionar o paladar para o sabor doce, interferindo nos sabores naturais dos alimentos.

Diante dos estudos citados, torna-se evidente que o estilo de vida dos pais exerce influência significativa sobre as crianças durante a primeira infância, destacando a importância crucial de uma alimentação saudável para promover benefícios à saúde infantil a curto e longo prazo. No entanto, o estudo realizado por Souza, Cunha e Guimarães (2022), revela que os pais não possuem conhecimento sobre o consumo de açúcar na alimentação de seus filhos e seus impactos negativos, ressaltando a necessidade de maior divulgação de informações nesse sentido.

O consumo de açúcar na adolescência está intrinsecamente ligado ao estilo de vida. Um estudo realizado por Wendpap et al. (2014) demonstrou que adolescentes que adotam um estilo de vida saudável, caracterizado por menores níveis de atividade sedentária, tendem a apresentar pontuações mais elevadas na qualidade da dieta. Esses adolescentes geralmente adotam uma alimentação de qualidade, em conformidade com os critérios conceituais de uma nutrição saudável e as diretrizes e recomendações nutricionais de Guias Alimentares. Suas dietas incluem quantidades adequadas de alimentos como frutas, vegetais, cereais, laticínios e derivados, além de um controle mais efetivo sobre a ingestão de gorduras, sódio e açúcar. Por outro lado, os adolescentes que têm uma maior atividade sedentária tendem a apresentar pontuações mais baixas na qualidade da dieta, refletindo uma alimentação inadequada, caracterizada por um alto consumo, principalmente de açúcares adicionados.

Em uma busca de anterioridades, foi investigado em adolescentes a prevalência do consumo de açúcar dentro do limite máximo de 5% da energia total da dieta, conforme recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Os resultados revelaram que fatores como maior tempo de exposição a telas e baixa qualidade geral da dieta estavam associados a um maior consumo de açúcar. Foram avaliados 924 adolescentes e concluiu-se que apenas 20,1% dos mesmos atenderam à recomendação da OMS (BRAZ et al., 2019).

O estudo conduzido por Galvão (2019) avaliou um plano de aula com uma sequência de ensino investigativa (SEI) como uma estratégia para promover uma educação alimentar visando um consumo consciente de açúcares de adição por alunos do ensino médio, obtendo resultados positivos na aprendizagem dos adolescentes mostrando que a SEI deve ser utilizada para o desenvolvimento de atividades ao longo de todo o ensino básico, impedindo conhecimentos equivocados e construindo conhecimentos científicos para a vida.

O consumo exagerado de açúcares, incluindo bebidas açucaradas, também é uma preocupação latente entre os adultos. Epifanio et al. (2020) conduziram um estudo ao longo de 5 anos, envolvendo adultos com mais de 18 anos, com o objetivo de analisar o consumo de bebidas açucaradas em relação ao seu excesso e intensidade. Os resultados revelaram uma redução no consumo dessas bebidas em 28% ao longo do período de 2007 a 2014. No estudo foi verificado que a prevalência de brasileiros que consomem bebidas açucaradas em cinco ou mais dias por semana ainda é significativa. Os autores concluem que a intensidade média do consumo permaneceu em uma lata por dia para cada indivíduo, resultando em uma ingestão média de 30g de açúcar simples por dia. Esse valor corresponde a 120% da quantidade diária recomendada pela OMS para limites de consumo de açúcar em adultos (25g/dia).

A pesquisa realizada por França e Marchiori (2018), também evidenciou um elevado consumo de bebidas açucaradas em adultos maiores de 18 anos. No estudo, 97 universitários de ambos os sexos responderam questionários de frequência alimentar, nos quais as bebidas avaliadas incluíam refrigerante tradicional ou zero, suco artificial ou industrializado, leite de soja, chá industrializado, água, refresco em pó, suco natural de fruta e leite com achocolatado. Os resultados revelaram que as bebidas mais consumidas diariamente foram refresco em pó (61%) e leite com achocolatado (32,2%), indicando uma alta frequência de ingestão de bebidas com elevado teor de açúcares.

Silva et al. (2019) examinaram o consumo de açúcar em adultos com idades entre 20 e 59 anos. Eles concluíram que homens que costumam se alimentar em frente às telas apresentam um consumo regular de bebidas açucaradas (definido como uma frequência de ingestão igual ou superior a cinco vezes por semana). Enquanto a maior frequência do consumo de bebidas açucaradas pelo público do sexo feminino estava relacionada à insatisfação com o próprio corpo, mostrando que o consumo está associado com o comportamento.

Em outra pesquisa foi observada uma relação entre o comportamento e escolhas alimentares em um estudo envolvendo adultos, com idades entre 18 e 44 anos, de ambos os sexos. Entre os resultados apontados foi observado que as escolhas saudáveis entre os homens aumentam com a idade e a prática de atividade física, enquanto entre as mulheres, está associada ao relato de emprego remunerado (ALEXANDRE et al., 2014).

Os benefícios de uma intervenção nutricional em mulheres adultas, com idade superior a 20 anos, que participavam do Programa Academia da Saúde (PAS) aliando com práticas de exercícios físicos por um período de 11 meses foi avaliado por Deus et al.

(2015). Durante a intervenção, foram implementadas ações de promoção da saúde, incluindo atividades relacionadas à alimentação, com o intuito de incentivar escolhas mais saudáveis, adequadas à realidade dos participantes. Após a intervenção, observou-se um aumento significativo no número de refeições diárias realizadas pelos usuários, bem como uma redução no consumo de açúcares e óleos, e um incremento no consumo de frutas, leites e derivados.

A pesquisa de Machado (2021) evidencia que a educação alimentar e nutricional produz efeitos positivos na vida das pessoas, concluindo que a intervenção é de significativa importância para melhoria da saúde em adultos com excesso de peso.

Em idosos foi observada uma alta prevalência de ingestão de açúcares, representando mais de 5% das calorias totais, enquanto a recomendação da OMS é de uma ingestão de açúcares abaixo de 5%. Esse padrão é especialmente evidente entre mulheres idosas com baixo peso e sem parceiros (JÚNIOR et al., 2023). Outro estudo destacou um alto consumo de açúcares entre idosos, apesar de seguirem uma dieta que inclui cereais, leguminosas, frutas, hortaliças, laticínios, carnes e ovos, conforme recomendado pelo Guia Alimentar da População Brasileira publicado pelo Ministério da Saúde (2014). Foi observado que a ingestão de alimentos ultraprocessados (os quais são geralmente alimentos que contêm aditivos químicos, com baixo teor de nutrientes e ricos em açúcares, gordura e sódio) foi significativa, com 89% dos idosos avaliados relatando o consumo diário de biscoitos e guloseimas. Em idosos com diabetes o consumo elevado de açúcar de mesa, bolos e guloseimas carrega uma preocupação adicional, visto que uma das principais recomendações para esses indivíduos é limitar a ingestão de açúcar (PREVIATO et al., 2015).

O estudo de Souza et al. (2016) investigou os padrões alimentares em idosos e sua relação com aspectos socioeconômicos. Os resultados revelaram que o alto consumo de açúcares e gorduras foi mais prevalente no sexo feminino. Quanto à cor da pele, observou-se que ser pardo reduziu a probabilidade de adesão a esse padrão alimentar. Foi verificado na pesquisa que diversos estudos relataram que os idosos tendem a consumir quantidades elevadas de alimentos ricos em gordura e açúcares, enquanto apresentam menor ingestão de frutas e verduras.

O consumo excessivo de açúcares é um problema significativo que afeta diversas faixas etárias, desde a primeira infância até a terceira idade, sendo essencial implementar estratégias multifacetadas que incluam educação nutricional, políticas públicas e intervenções comunitárias podendo contribuir significativamente para a redução do consumo excessivo de açúcar e a promoção de hábitos alimentares mais saudáveis, beneficiando a saúde da população em geral.

3.2. A INGÊNUA SUBSTITUIÇÃO DO CONSUMO DE AÇÚCARES PELO USO DE ADOÇANTES

Os adoçantes artificiais, como aspartame, sacarina, sucralose, acessulfame-k, entre outros, também são chamados de edulcorantes e estão presentes em vários produtos alimentícios intitulados como diet. Estes adoçantes são amplamente consumidos por pessoas diagnosticadas com obesidade devido à sua ausência de calorias, como revelado na revisão de literatura de Felício et al. (2023).

No entanto, essa estratégia de mudança pode ser ineficaz, visto que alguns adoçantes naturais dietéticos como os açúcares de poliois (isomaltose, maltitol, xilitol e

lactitol) quando consumidos em grandes quantidades são fermentados no intestino grosso, podendo causar efeitos adversos como flatulência, diarreia e ruídos intestinais. Porém o eritritol, adoçante não calórico, pode ser usado em dietas para disfunções gastrointestinais, embora sua obtenção seja mais desafiadora e com um custo mais elevado (CORDEIRO; CHAGAS; PAULA, 2021).

Segundo a nova diretriz da OMS, os adoçantes não devem ser empregados como substitutos do açúcar para controlar o peso corporal ou reduzir doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs). No entanto, essa orientação não se aplica a pessoas com diabetes preexistente e não inclui açúcares de baixa caloria e álcoois de açúcar, conhecidos como poliois ou poliálcoois (BRASIL, 2023).

A obesidade é uma doença caracterizada pelo excesso de gordura corporal, sendo uma doença complexa e multifatorial, visto que o alto consumo de açúcares está fortemente associado ao seu desenvolvimento, podendo agravar o quadro para doenças crônicas (PEREIRA; AMORIM, 2019). A diabetes mellitus é considerada uma doença crônica de difícil diagnóstico precoce e de evolução silenciosa. As principais causas estão ligadas a uma alimentação inadequada de alto consumo de carboidratos simples e sedentarismo (CASARIN, 2022).

No estudo de Zanini et al. (2011) foi avaliada a utilização de adoçantes entre adultos maiores de 20 anos. Os autores concluem que o uso de adoçantes apresentou maior prevalência entre o sexo feminino, idosos e adultos com excesso de peso. Outra análise sobre o uso de adoçantes em adultos brasileiros concluiu uma maior prevalência de uso entre indivíduos do sexo feminino, idosos com 60 anos ou mais, pessoas com doenças crônicas, principalmente portadores de diabetes e pessoas obesas. Também foi observado que quanto maior o relato de comorbidade, maior o uso de adoçantes (ARRAIS et al., 2019).

Na revisão de literatura proposta por Freitas e Araújo (2010) revela-se que a toxicidade do adoçante aspartame tem sido alvo de controvérsias quanto à sua segurança, porém estudos anteriores não confirmam sua toxicidade e ensaios em animais não mostraram evidências de toxicidade ou carcinogenicidade associadas ao consumo. No estudo de Ribeiro (2019), foi observado que o adoçante artificial ciclamato de sódio pode induzir tumores na bexiga em ratos, embora isso não tenha sido observado em seres humanos. Além disso, outros estudos incluídos na revisão destacaram que a toxicidade do ciclamato é baixa e não foi demonstrada relação de carcinogênese em diversos outros estudos.

Em relação ao adoçante natural esteviol estudos toxicológicos não apresentam atividade carcinogênica sendo considerados seguros para o consumo (NORONHA, 2019). No estudo conduzido por Felício et al. (2023) é verificado que os edulcorantes possuem estruturas químicas distintas, resultando em efeitos variados no organismo. Quanto aos efeitos adversos à saúde, a maioria dos estudos citados na revisão foi conduzida em roedores, o que dificulta a obtenção de conclusões definitivas.

No estudo de Ribeiro, Pirolla e Júnior (2020), foi observado os efeitos do aspartame em ratos e constataram uma série de efeitos adversos, como nefrotoxicidade, hepatotoxicidade, diabetes, câncer, Alzheimer, entre outros. Concluiu-se no estudo que os adoçantes com baixo potencial calórico possuem riscos à saúde se forem consumidos fora dos valores recomendados. Enquanto as substâncias com maior valor calórico podem ser consumidas respeitando os valores recomendados.

Nesse contexto, há discordância sobre os aditivos edulcorantes, com opiniões divergentes sobre os impactos causados à saúde quando consumidos. De acordo com a revisão de Santos (2022), algumas pesquisas afirmam que são seguros, citando estudos extensivos em animais e humanos. No entanto, outros argumentam que podem ter efeitos adversos na saúde, o que requer uma investigação mais detalhada.

Diante do exposto, conclui-se que são necessárias mudanças no comportamento alimentar dos consumidores, contribuindo para minimizar o consumo de açúcares e adoçantes no cotidiano. Estratégias para priorizar o consumo de alimentos *in natura* e seu sabor natural, aliadas a orientações populacionais de incentivo à observação das quantidades ingeridas podem contribuir com a redução gradual do consumo de açúcares e adoçantes (MARQUES et al., 2023).

3.3. O CONSUMO EXCESSIVO DE INDUSTRIALIZADOS E SUA RELAÇÃO COM A ROTULAGEM DE ALIMENTOS

A alimentação é um processo cultural moldado por hábitos e costumes familiares, que são mantidos independentemente de fatores socioeconômicos, cor, raça e gênero. De acordo com Bankoff, Bispo e Sousa (2020), a história familiar, associada ao desenvolvimento de DCNT, influencia essa cultura alimentar, particularmente no comportamento de compra e escolha dos produtos nos supermercados. Foi concluído na pesquisa dos autores que a cultura alimentar familiar (caracterizada por altos níveis de gorduras, carboidratos, açúcares e sódio) combinada com um estilo de vida sedentário, contribui para o surgimento precoce de doenças crônicas, prolongando-se ao longo de muitos anos dentro do núcleo familiar.

Um padrão alimentar e estilo de vida saudáveis, assim como a prática de atividade física são determinantes que influenciam positivamente no processo de envelhecimento (AIRES, 2019). Ter um conhecimento sobre alimentação saudável básica é de extrema importância para a saúde, por esse motivo o Guia Alimentar para a População Brasileira é um documento oficial que apresenta princípios e recomendações para uma alimentação adequada e saudável, sendo um instrumento de apoio às ações de Educação Alimentar e Nutricional (EAN). A adesão ao Guia é vista como uma estratégia para atingir a população com menor grau de conhecimento e compreensão sobre alimentação saudável, permitindo compreender a importância da alimentação adequada e reduzir o consumo de alimentos ultraprocessados. Essa estratégia pode minimizar a propensão a doenças como a obesidade através de uma alimentação adequada e saudável, considerando o grau de processamento do alimento (BORTOLINI et al., 2019).

Os alimentos ultraprocessados são produtos industrializados compostos principalmente por substâncias extraídas, derivadas ou sintetizadas a partir de alimentos naturais (BALEEIRO, 2018). A maior presença de alimentos industrializados na dieta da população brasileira resulta na redução do perfil nutricional da alimentação. Conforme demonstrado por um estudo conduzido por Louzada et al. (2015), os indicadores do perfil nutricional da dieta dos brasileiros que consomem menos alimentos industrializados se aproximam das recomendações internacionais da OMS relacionadas a evitar alimentos ultra processados e limitar ou ter o consumo adequado de proteínas, carboidratos, açúcar livre, fibras e gorduras totais. No estudo conclui-se que os produtos ultraprocessados apresentam uma alta densidade energética devido ao elevado teor de açúcar e gorduras presente, podendo causar comprometimento da regulação do balanço energético do corpo humano e aumentando o risco do ganho de peso, favorecendo a obesidade.

No estudo conduzido por Ramos e Meneses (2021) mostrou que indivíduos que consomem em excesso açúcar adicionado ou embutido em produtos alimentícios possuem prejuízo no desempenho cognitivo. Isso ocorre porque alimentos altamente palatáveis como o açúcar provocam alterações no sistema nervoso, como alterações nos processos neurais e metabólicos, resultando em um desequilíbrio fisiológico e sofrendo influência no contexto social. As DCNT como doenças cardiovasculares, doenças gastrointestinais e hipertensão estão relacionadas com a alimentação inadequada com consumo de processados e ultraprocessados, devido ao fato de que esses produtos são produzidos com alto teor de açúcares, gorduras e sódio (PINTO; COSTA, 2021).

Nesse contexto, os rótulos de alimentos desempenham um papel crucial na formação de uma nova visão alimentar, permitindo aos consumidores um alcance na garantia da segurança alimentar e nutricional através da análise e comparação das informações nas embalagens de alimentos (ARAÚJO, 2017).

Segundo Pereira e Cuvello (2022) a legislação brasileira de rotulagem atribuída pela ANVISA em 2020 estabeleceu a obrigação de declaração frontal em alimentos industrializados que excedam as quantidades máximas permitidas de três nutrientes por 100g do produto: açúcares adicionados, gordura saturada e sódio. Visto que estes nutrientes, quando consumidos em excesso, são conhecidos por contribuir para o desenvolvimento de DCNT.

A adoção do modelo de rotulagem frontal tipo lupa no Brasil tem trazido benefícios no consumo de alimentos ultraprocessados. A eficácia desta abordagem é notável devido à sua fácil visualização e compreensão, podendo reduzir a compra e o consumo dos produtos indicados com alto teor de açúcar adicionado, gordura saturada e sódio, ou ainda, influenciar negativamente na percepção de saudabilidade destes alimentos. Além disso, o alerta sobre o excesso de nutrientes críticos presentes nos produtos capacita os consumidores a fazerem escolhas alimentares mais informadas, possibilitando decisões mais acertadas em relação à sua alimentação e saúde (PIRES, 2024).

Na pesquisa conduzida por Castro (2013) foram investigados os aspectos discursivos de quatro propagandas da rede de *fast food* "*McDonald 's*", sendo analisadas propagandas presentes em revistas, *outdoor*, paradas de ônibus e em guardanapos. As propagandas analisadas buscam construir uma imagem relacionada ao conceito de alimentação saudável aos produtos. Todavia, foi observado que os produtos apresentam altos teores de sódio, gorduras e/ou açúcares em sua composição. Considerando as consequências negativas que o consumo excessivo desses alimentos pode acarretar na vida das pessoas, foi concluído que a publicidade deveria retratar de forma mais precisa o que constitui uma alimentação saudável e alertar os consumidores sobre os riscos envolvidos.

Um exemplo de publicidade neste contexto de alerta, são as propagandas de cigarros e bebidas alcoólicas, possuindo frases de alerta como "BEBA COM MODERAÇÃO" e/ou "NÃO EXAGERE NO CONSUMO" conforme foi analisado na pesquisa de Castro (2013). O autor conclui que a publicidade errônea relacionada ao conceito de alimentos saudáveis indicadas para o consumo de adultos e crianças suscita preocupações do ponto de vista ideológico de engano, além de relacionar potenciais consequências negativas para a saúde da sociedade a longo prazo.

Ávila et al. (2018) também analisaram os rótulos de barras de cereais de diferentes marcas que apresentam na embalagem o título "saudáveis". A análise dos rótulos revelou a presença excessiva de açúcar de adição no conteúdo das barras de cereais. Foi relatado

que as marcas apresentavam em sua embalagem imagens de bananas inteiras ou cortadas, juntamente com representações visuais de elementos como grãos e mel, com o intuito de construir a percepção de saúde para o consumidor. No entanto, foi concluído que os rótulos dos alimentos avaliados não fornecem informações adequadas sobre o teor de açúcares, ao mesmo tempo em que utilizam recursos retóricos e táticas pouco éticas para tornar os produtos mais comercializáveis. Essas práticas contradizem o termo "saudável" empregado nos rótulos podendo levar a grandes impactos na saúde pela alta frequência do consumo desses alimentos industrializados.

Maciel (2012) realizou uma análise dos rótulos de alimentos industrializados que apresentavam apelos à saúde e outras estratégias de consumo do produto. Os resultados da análise revelaram que todos os produtos avaliados apresentavam uma alta densidade calórica. Além disso, em quase metade dos produtos avaliados, os teores de açúcar não foram informados separadamente do total de carboidratos, impossibilitando a determinação de teores elevados de açúcar ou não. Cerca de 22% dos produtos declararam em seus rótulos quantidades de açúcar consideradas elevadas de acordo com a legislação vigente. O autor observou teores elevados de gordura saturada em 64% dos produtos analisados, enquanto 53% dos produtos apresentaram teores elevados de sódio. Ademais, 66% dos produtos não destacaram em seus rótulos os teores de gorduras, açúcar e sódio, embora seja exigido por lei. Conclui-se que os produtos estudados frequentemente excederam os parâmetros estabelecidos para os teores avaliados, revelando que apelos à saúde e outras estratégias de *marketing* nutricional foram identificados em produtos que não deveriam ser associados a uma alimentação saudável ou ter seu consumo incentivado.

Diante deste cenário, é importante incentivar a análise criteriosa dos rótulos de alimentos. Gonçalves et al. (2015) realizaram uma pesquisa em campo com o objetivo de avaliar o conhecimento de 70 consumidores de um supermercado sobre a rotulagem de alimentos. Foi observado que 54,28% dos consumidores fazem a leitura dos rótulos, enquanto 35,71% não têm o hábito de lê-los. Cerca de 10% dos consumidores relatam que verificam as informações contidas nos rótulos de forma esporádica. Além disso, 90% dos entrevistados consideram o prazo de validade como o dado mais importante na rotulagem.

Com base no estudo é possível destacar que o nível de compreensão das informações disponíveis nos rótulos é insatisfatório. Há também um baixo grau de confiança nas informações apresentadas, o que sugere a necessidade de rótulos mais claros, e acessíveis para todos os consumidores (GONÇALVES et al., 2015). Lindemann et al. (2016) também investigaram a prevalência da leitura de rótulos em 1.246 usuários da Atenção Básica de Saúde. Os resultados revelaram que 70,90% dos participantes apresentaram o hábito de leitura dos rótulos durante a compra. As informações mais frequentemente consultadas são o prazo de validade, seguido pelas informações nutricionais, com 18% dos participantes alegando fazer a consulta. A conclusão do estudo aponta para a necessidade de enfatizar não apenas a importância de verificar o prazo de validade dos produtos, mas também de consultar as informações nutricionais. Isso é crucial para promover escolhas alimentares mais saudáveis.

A busca por alimentos saudáveis e seguros depende de rótulos bem regulamentados, sendo um recurso fundamental para melhorar o direito à informação pois ter acesso a informações claras e precisas aumenta a capacidade do consumidor de analisar e fazer escolhas informadas, auxiliando na seleção de opções alimentares mais saudáveis e seguras. Porém, apesar dos progressos em regulamentações, ainda é comum

encontrar rótulos com informações excessivamente, técnicas e publicitárias, o que pode induzir a interpretações erradas (PEREIRA et at., 2019).

Diante desse contexto, a adoção da rotulagem nutricional frontal atribuída pela ANVISA pode ser considerada como uma estratégia de mudança para incentivar o comportamento dos consumidores quanto à leitura e análise criteriosa da rotulagem alimentar.

3.4. INVESTIMENTOS EM PESQUISAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM BAIXO TEOR DE AÇÚCAR

O desenvolvimento de produtos com baixo teor de açúcar é uma estratégia da indústria de alimentos em fornecer a possibilidade do consumo de alimentos de qualidade nutricional superior aos alimentos produzidos com alto teor de açúcar. Nesse contexto, o Guia Alimentar para a População Brasileira além de incentivar a alimentação adequada e saudável considera a diversidade alimentar cultural e biológica das diferentes regiões do Brasil na elaboração de produtos saudáveis (AMBROSI; GRISOTTI, 2022).

O cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul e do Brasil e o mais antigo bioma inalterado da Terra que configura um dos biomas com maior biodiversidade do planeta. Seus frutos, folhas, raízes e sementes podem ser utilizados em diferentes aspectos da indústria alimentícia e farmacológica, como mostra o estudo de Rodrigues (2022). O autor revela em seu estudo que a identidade alimentar é tão essencial e emblemática quanto a língua, seja falado ou escrita, pois reflete valores fundamentais da identidade social de uma pessoa. Assim, a seleção de ingredientes baseada no gosto pessoal, na ligação com o território e nos hábitos alimentares, juntamente com a maneira de prepará-los e com quem compartilhá-los, pode ser vista como uma expressão de autonomia, auto afirmação, pertencimento e identidade.

A utilização de ingredientes regionais como buriti, cupuaçu e jatobá tem sido estudado por diversos pesquisadores devido ao seu grande potencial econômico e benefícios nutricionais. O buriti, destacado por Carvalho e Santos (2020), possui um alto teor de fibras e provitamina A, possuindo também propriedades antibacterianas e antioxidantes que contribuem para a saúde. O jatobá é considerado uma fruta rica em compostos antioxidantes, fenois e carotenoides. Sua casca é utilizada na produção de farinhas contribuindo para uma alimentação saudável (Filho, 2019). O cupuaçu, explorado por Dias et al. (2019) e Costa et al. (2022), é valorizado por sua riqueza em vitamina C e compostos fenólicos, além de possuir aceitação sensorial favorável em produtos alimentícios.

Ao destacar as propriedades únicas e os benefícios de saúde desses alimentos é possível contribuir para um maior reconhecimento e demanda pelos produtos, além de explorar como eles podem fortalecer a identidade regional e o desenvolvimento econômico local, destacando a relação entre alimentação saudável e sustentabilidade regional. Ademais, estudos empregando ingredientes regionais em produtos com características de saudabilidade, como redução de açúcares e gorduras são avaliados frequentemente.

Nogueira e Jesus (2014) desenvolveram uma geleia *diet* de seriguela sem adição de açúcar, utilizando os edulcorantes sucralose e acessulfame de potássio. Na produção, foram empregados ingredientes como seriguela, pectina, goma xantana, os edulcorantes, conservante sorbato de potássio, fosfato tricálcio e ácido cítrico. O estudo envolveu o

desenvolvimento de cinco formulações diferentes, que variaram nas quantidades dos edulcorantes utilizados. Todas as formulações dietéticas mantiveram um pH consistente, com uma média de 3,2, indicando estabilidade ácida adequada. Para a avaliação sensorial, cinquenta julgadores participaram do teste, e dentre as cinco formulações, a quarta foi a melhor avaliada. Esta formulação específica, que incluiu uma combinação de sucralose e acessulfame de potássio, foi também a preferida em termos de doçura pelos degustadores. Foi concluído que as geleias *diet* de seriguela demonstraram ser bem aceitas pelos consumidores.

A aceitabilidade sensorial de três formulações de sorvetes à base de soja com redução de açúcar foi verificada por Ferreira (2010). A primeira formulação desenvolvida continha açúcar em sua composição. A segunda formulação apresentava 25% de açúcar substituído por adoçante, e a terceira formulação consistiu em uma mistura equitativa de 50% açúcar e 50% adoçante. Um total de 55 adultos não treinados participaram da avaliação sensorial. Os resultados indicaram que a terceira formulação foi melhor avaliada em termos de sabor em comparação com as demais, com a maioria dos participantes expressando intenção de compra do produto.

O desenvolvimento de *brownies* funcionais com substituição do açúcar cristal também foi avaliado. Em seu estudo, Umbelino (2021) incluiu na formulação dos *brownies* produtos funcionais como beterraba, cacau e farinha de linhaça, visando obter um produto mais nutritivo. Foram desenvolvidas quatro formulações distintas. A primeira formulação foi desenvolvida com açúcar cristal, a segunda formulação com o uso de açúcar mascavo, enquanto a terceira e a quarta formulação foram desenvolvidas com açúcar *light* e adoçante, respectivamente. Observou-se que as formulações mais aceitas foram aquelas com açúcar cristal (primeira formulação) e mascavo (segunda formulação), enquanto os produtos feitos com edulcorantes geralmente apresentaram um sabor residual, resultando em menor aceitação pelos provadores, conforme observado neste estudo com as amostras contendo açúcar *light* (terceira formulação) e adoçante (quarta formulação). Os resultados do estudo indicaram que é possível desenvolver *brownies* funcionais e econômicos, enriquecidos com ingredientes como farinha de linhaça, cacau, beterraba e limão com substituição de margarina ou manteiga por óleo de canola. Além disso, agregando o conceito de saudabilidade aos produtos, os *brownies* desenvolvidos apresentam uma quantidade adequada de ômega 3 e ômega 6 recomendado pela Sociedade Brasileira de Cardiologia. Esse resultado resulta em um produto nutritivo, rico em fibras e com boa aceitação sensorial quando comparados aos brownies tradicionais normalmente consumidos pela população (UMBELINO, 2021).

Faresin et al. (2019) desenvolveram sorvetes funcionais com redução de açúcar e gordura adicionados de *Spirulina platensis*, extrato de ficocianina e/ou inulina como emulsificante, agente texturizante e substitutos de açúcar e gordura. As formulações apresentaram índices de aceitabilidade sensorial de até 74% e foi possível alcançar uma redução significativa de 50% em gordura e 25% em açúcar, sem comprometer a qualidade sensorial dos sorvetes. Durante a avaliação sensorial, os sorvetes foram caracterizados pelos atributos como textura macia e cremosidade, que foram comparáveis aos de sorvetes tradicionais. Esses resultados indicam que é possível criar sorvetes reduzidos em calorias que ainda são agradáveis ao paladar e tecnicamente viáveis, mantendo as características desejadas pelos consumidores. Além disso, o estudo mostrou que a adição desses compostos bioativos não apenas promove benefícios à saúde, mas também contribui para a aceitabilidade geral do produto, sugerindo que essas adições podem ser

uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios funcionais no mercado.

Mota et al. (2011) desenvolveram um bolo com baixo teor calórico, isento de açúcares adicionados e enriquecido com fibras. Na formulação, a gordura foi substituída por polidextrose e emulsificantes, enquanto a inulina foi incorporada como fonte de fibras. Para substituir o açúcar, optou-se pelos edulcorantes isomalte e sucralose. Durante a análise sensorial, essências de baunilha, coco, chocolate e laranja foram testadas em uma formulação *diet/light* com inulina. O sabor laranja foi classificado como favorito, escolhido por 39,5% dos julgadores, enquanto o sabor baunilha foi o menos preferido, com apenas 10,5% da preferência. As formulações que continham 1,5% de emulsificante e 100% de substituição de gordura por polidextrose receberam as maiores notas nos atributos de aceitação e aparência. Observou-se que o aumento da quantidade de inulina nas formulações resultava em uma diminuição nas notas de aceitação. Concluiu-se que é possível desenvolver formulações de bolos funcionais e com boa aceitação sensorial.

Diante dos estudos citados é notório a importância do incentivo à uma alimentação saudável e pesquisas de desenvolvimento de produtos. Ademais, percebe-se a necessidade do investimento industrial em formulações de produtos com boa qualidade nutricional, principalmente na elaboração de produtos com baixo açúcar, gordura e sódio, minimizando o consumo de alimentos que contribuem para o desenvolvimento de DCNT e incentivando a população a mudança de hábitos alimentares para alcançar melhorias de saúde e longevidade.

4. CONCLUSÃO

O estudo proporcionou uma compreensão abrangente sobre os impactos do consumo de açúcares ao longo das diferentes faixas etárias, abordou o uso de adoçantes e explorou a influência dos alimentos industrializados e do estilo de vida no consumo de açúcar. O estudo reforçou a importância da promoção de pesquisas que visem o desenvolvimento de produtos alimentícios mais saudáveis, com baixo teor de açúcares, contribuindo para uma alimentação mais equilibrada e saudável.

Para auxiliar na compreensão da necessidade de redução do consumo de açúcares, é essencial investir em estratégias que envolvam educação nutricional, tanto nas escolas quanto nas comunidades, conscientizando a população sobre os riscos associados ao consumo excessivo de açúcares e incentivando a adoção de uma dieta mais equilibrada. Além disso, a implementação de políticas públicas que promovam a redução do teor de açúcares nos alimentos industrializados é fundamental para que os consumidores possam fazer escolhas alimentares mais saudáveis e conscientes.

Uma consideração essencial é o incentivo ao consumo de alimentos in natura, oferecendo uma alternativa mais saudável aos produtos industrializados. Paralelamente, é importante fomentar o desenvolvimento de produtos alimentícios com baixo teor de açúcares, utilizando ingredientes regionais e naturais, que, além de promoverem a saúde, também impulsionam o desenvolvimento econômico e sustentável das regiões produtoras. Essas estratégias, alinhadas com as evidências apresentadas, têm o potencial de contribuir significativamente para a redução do consumo de açúcares e para a promoção de hábitos alimentares mais saudáveis, com impactos positivos na saúde da população.

REFERÊNCIAS

[1] AIRES, I. O.; SOUSA, L. L. C.; SOUSA, D. J. M.; ARAÚJO, D. S. M.; OLIVEIRA, I. K. F.; ALENCAR, M. S. S. Consumo alimentar, estilo de vida e sua influência no processo de envelhecimento. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 11, p. e098111437-e098111437, 2019.

[2] ALEXANDRE, V. P.; PEIXOTO, M. D. R. G.; SCHNITZ, B. D. A. S.; MOURA, E. C. D. Fatores associados às práticas alimentares da população adulta de Goiânia, Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 17, p. 267-280, 2014.

[3] AMBROSI, C.; GRISOTTI, M. O Guia Alimentar para a População Brasileira (GAPB): uma análise à luz da teoria social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 27, p. 4243-4251, 2022.

[4] ARAÚJO, W. D. R. Importância, estrutura e legislação da rotulagem geral e nutricional de alimentos industrializados no Brasil. **Revista Acadêmica Conecta FASF**, v. 2, n. 1, 2017.

[5] ARRAIS, P. S. D.; VIANNA, M. P. D. N.; ZACCOLO, A. V.; MOREIRA, L. I. M.; QUIDUTE, A. R. P.; FONTANELLA, A. T.; MENGUE, S. S. Utilização de adoçantes no Brasil: uma abordagem a partir de um inquérito domiciliar. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, p. e00010719, 2019.

[6] AUAD, S. M; FREIRE-MAIA, F. B. **Guias de Orientações Para Alimentação Saudável**. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Odontologia, 11 p., ISBN: 978-65-993961-1-3, 2021. Disponível em:<https://www.odonto.ufmg.br/sca/wp-content/uploads/sites/6/2021/06/CartilhaAlimentac%CC%A7a%CC%83o.pdf>

[7] ÁVILA, D. M. G, L. Rotulagem alimentar e organização do conhecimento: alegações nutricionais e de saúde em relação ao açúcar. **Liinc em Revista**, v. 14, n. 2, 2018.

[8] ALVES, L.F. Produção de Fitoterápicos no Brasil: História, Problemas e Perspectivas. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 3, p. 450-513, 2013.

[9] BALEEIRO, R. S. **Efeito da ingestão de sacarose sobre o sistema cardiovascular e o rendimento físico.** Ouro Preto, 2018. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Fisiopatologia da Nutrição), Universidade Federal de Ouro Preto.

[10] BANKOFF, A. D. P.; BISPO, I. M. P.; DE SOUSA, M. A. B. Estudo da cultura alimentar, hábitos de vida e influências sobre as doenças crônicas não transmissíveis. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2020.

[11] BRASIL, Ministério da Saúde. **OMS divulga nova diretriz sobre o uso de adoçantes.** 2023. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2023/oms-divulga-nova-diretriz-sobre-o-uso-de-adocantes#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20OMS,cerebrais%20(AVCs)%20e%20c%C3%A2ncer. Acesso em: 27 mar. 2024.

[12] BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em:https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf. Acesso em: 07 jun. 2024.

[13] BORGES, M. F.; BORGES, D. O.; MENDES, R. A.; TASSI, E. M. M.; SCHMIDT, V. C. R.; ROSA, F. R. Desenvolvimento de um pão com farinha de jatobá (Hymenaea spp.), mamão e banana: aceitabilidade, composição nutricional e atividade antioxidante. **Revista Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 9, n. 2, p. 624-642, 2023. ISSN: 1696-8352. DOI: 10.55905/oelv21n2-003

[14] BORTOLINI, G. A.; Moura, A. L. P.; LIMA, A. M. C.; MOREIRA, H. D. O. M.; MEDEIROS, O.; DIEFENTHALER, I. C. M.; OLIVEIRA, M. L. Guias alimentares: estratégia para redução do consumo de alimentos ultraprocessados e prevenção da obesidade. **Revista panamericana de salud publica**, v. 43, 2019.

[15] BRAZ, M. ASSUMPÇÃO, D. D.; BARROS, M. B. D. A.; BARROS, A. D. A. Consumo de açúcares de adição por adolescentes em estudo de base populacional. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, p. 3237-3246, 2019.

[16] CARVALHO, R. S.; SANTOS, T. T. dos. Propriedades químicas, medicinais e nutricionais do Buriti (Mauritia flexuosa L.) e de seus derivados. DESAFIOS - **Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, v. 7, n. 3, p. 56-70, 2020. DOI: 10.20873/uftv7-6691

[17] CASARIN, D. E. DONADEL, G.; DALMAGRO, M.; OLIVEIRA, P. C.; CERANTO, D. D. C. F. B.; ZARDETO, G. Diabetes mellitus: causas, tratamento e prevenção. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 10062-10075, 2022.

[18] CASTRO, J. O. **A propaganda de" alimentação saudável" do McDonalds**. Trabalho de Conclusão de Curso (Linguística, Português e Línguas clássicas). Universidade de Brasília, 28 p., 2013.

[19] CORDEIRO, J. L.; MILHOMEM, L. C. R. **Formulação de doces: uma alternativa tecnológica para a cadeia produtiva da Mandioca produzida no Sudeste do Pará.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, 61 p., 2019.

[20] CORDEIRO, J.M.P.; FÉLIX, L.P. Conhecimento botânico medicinal sobre espécies vegetais nativas da caatinga e plantas espontâneas no agreste da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais,** v.16, n.3, p.685-692, 2014.

[21] CORDEIRO, M. M.; CHAGAS, T. A. B.; DALA-PAULA, B. M. Polióis como substitutos à sacarose: obtenção, características químicas e implicações. **Exatas Online.** v. 12 n. 2 p.11-26, 2021.

[22] COSTA, C. M. SILVA, K. A.; SANTO, I. L.; YAMAGUCHI, K. K. L. Aproveitamento integral do cupuaçu na área de panificação. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e34711528176-e34711528176, 2022.

[23] DEUS, R. M. MINGOTI, S. A.; JAIME, P. C.; LOPES, A. C. S. Impacto de intervenção nutricional sobre o perfil alimentar e antropométrico de usuárias do Programa academia da saúde. **Ciência & saúde coletiva**, v. 20, p. 1937-1946, 2015.

[24] DIAS, J. D. M. ABREU, G. K. V.; PEREIRA, A. L. F. F.; LEMOS, T. O.; SANTOS, L. H.; SILVA, V. K. L.; MOTA, A. S. B. **Desenvolvimento e avaliação das características físicoquímicas e da aceitação sensorial de doce em massa de cupuaçu.** Curitiba: B.CEPPA, v. 36, n. 1, 2019.

[25] EPIFÂNIO, S. B. O. SILVEIRA, J. A. C. D.; MENEZES, R. C. E. D.; MARINHO, P. M.; BREBAL, K. M. D. M.; SILVA, G. Análise de série temporal do consumo de bebidas açucaradas entre adultos no Brasil: 2007 a 2014. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 2529-2540, 2020.

[26] FARESIN, L. S.; DEVOS, R. J. B.; REINEHR, C. O.; COLLA, L. M. Development of ice cream with reduction of sugar and fat by the addition of inulin, Spirulina platensis or phycocyanin. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 27, 100445, ISSN 1878-450X, 2022.

[27] FRANÇA, I.S.X.; SOUZA, J.A.; BAPTISTA, R.S.; BRITTO, V.R.S. Medicina popular: benefícios e malefícios das plantas medicinais. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v.61, n.2, p.201-8, 2008.

[28] FRANÇA, J. Q. S; MARCHIORI, J. M. G. Avaliação do consumo de bebidas açucaradas em universitários da cidade de Bebedouro-SP. **Revista Ciências Nutricionais Online**, v.2, n.2, p.37-41, 2018.

[29] FELÍCIO, A. M. ALEIXA, M.; AGUIAR, N.; BALTAZAR, A. L. Sucralose: É mais saudável que o açúcar? **Open Science Research X,** v. 10, p. 548-557, 2023.

[30] FERREIRA, T. A. H. Desenvolvimento e análise sensorial de sorvete à base de soja com redução de açúcar. **Revista Uningá**, v. 25, n. 1, 2010.

[31] FILHO, A. C. P. M. SILVA, M. A.; PEREIRA, A. V.; FILHO, J. G. O.; CASTRO, C. F. S. Parâmetros físico-químicos, tecnológicos, atividade antioxidante, teor de fenólicos totais e carotenóides das farinhas dos frutos do jatobá-do cerrado (Hymenaea stigonocarpa Mart. ex Hayne). **Multi-Science Journal**, v. 2, n. 1, p. 93-100, 2019.

[32] FREITAS, A. S.; ARAÚJO, A. B. Edulcorante artificial: Aspartame-uma revisão de literatura. **Revista Pindorama**, v. 1, n. 01, p. 11-11, 2010.

[33] GALVÃO, D. D. Açúcares de Adição e Educação alimentar na escola: Uma proposta de Sequência de Ensino Investigativo no Ensino Médio. 2019.

[34] GONÇALVES, N. A.; CECCHI, P. P.; VIEIRA, R. M.; SANTOS, M. D. A.; ALMEIDA, T. C. Rotulagem de alimentos e consumidor. **Nutrição Brasil**, v. 14, n. 4, 2015.

[35] GOHN, M. G. Empoderamento e participação da comunidade em políticas sociais. **Saúde e Sociedade**, v. 13, n. 2, p. 20-31, 2004.

[36] GUÉNEAU, S.; DINIZ, J. D. D. A. S.; BISPO, T.; MENDONÇA, S. D. Cadeias de produtos da sociobiodiversidade como opção de desenvolvimento sustentável no cerrado: o desafio da comercialização. **Revista Cirad Agritop**, cap. 8, 39 p. 2020.

[37] JÚNIOR, J. N. B.; FREIRIA, C. N.; SILVA, G. M. D.; CORONA, L. P. Fatores associados ao consumo de açúcares de adição de idosos da região de Campinas-SP, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, p. 1219-1228, 2023.

[38] KUHN, I. C. Q. ; MERHEB, K. C.; GARCIA, P. P. C. **A importância da alimentação saudável e adequada na primeira infância para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis uma revisão da literatura.** Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade De Ciências Da Educação E Saúde). Centro Universitário De Brasília, 24 p., 2021.

[39] LEMOS, P. H. A.; GOMES, N. A. A. A. **Consumo de bebidas açucaradas na primeira infância:** um estudo de revisão. Trabalho de Conclusão de Curso (Escola de Ciências Sociais e da Saúde). Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 16 p., 2021.

[40] LINDEMANN, I. L.; SILVA, M. T. D.; CÉSAR, J. G.; MENDOZA-SASSI, R. A. Leitura de rótulos alimentares entre usuários da atenção básica e fatores associados. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 24, p. 478-486, 2016.

[41] LOUZADA, M. L. C.; MARTINS, A. P. B.; CANELLA, D. S.; BARALDI, L. G.; LEVY, R. B.; CLARO, R. M.; MONTEIRO, C. A. Alimentos ultraprocessados e perfil nutricional da dieta no Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 49, 2015.

[42] MACIEL, E. **O gostoso e o saudável: uma análise da utilização de apelos de saúde na rotulagem de alimentos e sua convergência com o conteúdo nutricional.** Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação Interunidades em Nutrição Humana Aplicada). Universidade de São Paulo, 149 p., 2012.

[43] MACHADO, S. R. Z. **A Importancia das intervenções nutricionais no adulto obeso para obter qualidade de vida.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição). Faculdade Pitágoras, 34 p., 2021.

[44] MANHANI, T. M.; CAMPOS, M. V. M.; DONATI, F. P.; MORENO, A. D. H. Sacarose, suas propriedades e os novos edulcorantes. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 17, n. 1, p. 113-125, 2014.

[45] MARQUES, R. R.; SANTOS, P. D. O. D.; OLIVEIRA, S. A.; SANTOS, S. G.; CARVALHO, H. C.; BRAGA, M. Z. O Consumo de adoçantes e os possíveis impactos na saúde humana e intestinal. **Revista de Trabalhos Acadêmicos–Universo Belo Horizonte**, v. 1, n. 8, 2023.

[46] MATOS, D. M.; MARQUES, F. R. Histórico do Açúcar e Propostas de Valorização da Confeitaria Regional. **XV SEMANA ACADÊMICA UNIFAMETRO. ISSN**, p. 2357-8645, 2019.

[47] MOTA, M. C.; CLARETO, S. S.; AZEREDO, E. M. C.; ALMEIDA, D. M.; MORAES, A. L. L. Bolo light, diet e com alto teor de fibras: elaboração do produto utilizando polidextrose e inulina. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 268-275, 2011.

[48] NEGAMI, T. G. **Produção de paçoca de amendoim com redução de açúcar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Alimentos). Universidade Tecnológica Federal, 42 p., 2021.

[49] NOGUEIRA, J. P.; JESUS, M. A. C. L. Desenvolvimento, avaliação físico-química, sensorial e colorimétrica da geleia de seriguela diet. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 2S, 2014.

[50] NORONHA, I. F. P. C. **Determinação de edulcorantes e constituintes inorgânicos em adoçantes de mesa**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Química Analítica). Universidade Federal de Minas Gerais, 111 p., 2019.

[51] PEREIRA, G.F.G., CUVELLO, L.C.F. Análise da nova legislação de rotulagem sobre a declaração nutricional frontal (front-if-pack lebelling fop) de produtos alimentícios no Brasil e em outros países da América Latina. **Revista Uniítalo Em Pesquisa**, v. 12, n. 3, p. 67-83 jul, 2022.

[52] PEREIRA, M. C. S.; TAVARES, M. D. F. L.; NASCIMENTO, L. C. G.; TONELLO, M. G. M.; PINHATI, R. R.; AMARAL, M. D. P. H.; VASSIMON, H. S. Rótulos de alimentos: revisão de literatura no contexto da promoção da saúde e alimentação adequada e saudável. **Conexão Ciência (Online)**, v. 12, n. 1, p. 116-125, 2017.

[53] PEREIRA, V. E. A.; AMORIM, M. F. **O contexto da obesidade e sua relação com o consumo excessivo de açúcar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade De Ciências Da Educação E Saúde). Centro Universitário de Brasília, 21 p., 2019.

[54] PINTO, J. R. R.; COSTA, F. N. Consumo de produtos processados e ultraprocessados e o seu impacto na saúde dos adultos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e568101422222-e568101422222, 2021.

[55] PIRES, A. L. R. **Influência da rotulagem nutricional no consumo de alimentos ultraprocessados em países da América Latina e Caribe**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Nutrição). Universidade Federal de Pernambuco, 70 p., 2024.

[56] PREVIATO, H. D. R. A.; BARROS, F. S. S.; MELLO, J. D. B. M.; SILVA, F. C. S.; NIMER, M. Perfil clínico-nutricional e consumo alimentar de idosos do Programa Terceira Idade, Ouro Preto-MG. **Demetra: alimentação, nutrição & saúde**, v. 10, n. 2, p. 375-387, 2015.

[57] RAMOS, V. P.; MENESES, C. O. R. Efeitos do consumo excessivo de açúcar sobre o desempenho cognitivo: uma revisão de literatura/Effects of excessive sugar consumption on cognitive performance: a literature review. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 6, p. 24931-24951, 2021.

[58] RIBEIRO, E. S. **Adoçantes: peculiaridades e aplicações na Técnica Dietética**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Nutrição). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 44 p., 2019.

[59] RIBEIRO, T. R.; PIROLLA, N. F. F.; NASCIMENTO-JÚNIOR, N. M. Adoçantes Artificiais e Naturais: Propriedades Químicas e Biológicas, Processos de Produção e Potenciais Efeitos Nocivos. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 5, p. 1-41, 2020.

[60] RODRIGUES, V. R. A. **A Cultura alimentar do cerrado brasiliense: Como o uso dos ingredientes regionais pode constituir uma resistência cultural.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Serviço Social). Universidade de Brasília, 55 p., 2022.

[61] SANTOS, J. L. **Edulcorantes em alimentos e seus possíveis efeitos na saúde**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 88 p., 2022.

[62] SANTOS, S. P.; VIEIRA, G. O.; SCAVUZZI, A. I. F.; FILHO, I. S. G. Práticas alimentares e cárie dentária-uma abordagem sobre a primeira infância. **Revista da Associacao Paulista de Cirurgioes Dentistas**, v. 70, n. 1, p. 12-18, 2016.

[63] SILVA, D. C. G.; SEGHETO, W.; AMARAL, F. C. D. S.; REIS, N. D. A.; VELOSO, G. S. S.; PESSOA, M. C.; NOVAES, J. F.; LONGO, G. Z. Consumo de bebidas açucaradas e fatores associados em adultos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, p. 899-906, 2019.

[64] SOUSA, M. F.; CUNHA, T. C. R.; GUIMARÃES, T. G. F. A. Avaliação do conhecimento dos responsáveis em relação à dieta rica em sacarose. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e459111032958-e459111032958, 2022.

[65] SOUZA, J. D.; MARTINS, M. V.; FRANCO, F. S.; MARTINHO, K. O.; TINÔCO, A. L. Padrão alimentar de idosos: caracterização e associação com aspectos socioeconômicos. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 19, p. 970-977, 2016.

[66] TURNER, F.J. WERHOOGEN, J. **Igneous and Metamorphic Petrology**. 20ª ed., McGraw-Hill, 694 p., 1960.

[67] UMBELINO, A. L. A. Desenvolvimento de brownies funcionais com substituição do açúcar comum. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 132-147, 2021.

[68] WARSCHAUER, C. **Rodas em rede**. Oportunidades formativas na escola e fora dela. 2 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2017.

[69] WENDPAP, L. L.; FERREIRA, M. G.; RODRIGUES, P. R. M.; PEREIRA, R. A.; LOUREIRO, A. D. S.; GONÇALVES-SILVA, R. M. V. Qualidade da dieta de adolescentes e fatores associados. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, p. 97-106, 2014.

[70] WORDART, 2024. Disponível em: < https://wordart.com/ >.

[71] ZANINI, R. V.; ARAÚJO, C. L.; MARTÍNEZ-MESA, J. Utilização de adoçantes dietéticos entre adultos em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil: um estudo de base populacional. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 27, p. 924-934, 2011.

CAPÍTULO

02

Análise das estratégias de mudanças da nova rotulagem nutricional na rotina de consumidores brasileiros: uma revisão bibliográfica sistemática

Déborah Lorrany Pereira Galvão, Juliana Kossmann Barbosa, Rafaela Julyana Barboza Devos

1. INTRODUÇÃO

O conceito de rotulagem nutricional compreende toda matéria descritiva ou gráfica presente na embalagem do produto alimentício (ANVISA, 2023). A obrigatoriedade da rotulagem de alimentos embalados é estabelecida e supervisionada por várias entidades governamentais, incluindo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o Ministério da Saúde (MS), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) e o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) (MACHADO, 2021). No âmbito do Código de Defesa do Consumidor, a rotulagem assume um papel fundamental na garantia do direito ao acesso a informações claras e precisas sobre produtos alimentícios, permitindo-lhe uma tomada de decisão consciente e segura, previsto no artigo 6º, inciso III (BRASIL, 1990).

A rotulagem nutricional é regulamentada por leis e normas em diferentes países. No Brasil, a ANVISA é responsável por normatizar a rotulagem de alimentos através da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 429/2020 (ANVISA, 2020a) e Instrução Normativa nº 75/2020 (ANVISA, 2020b), na qual facultou o processo de revisão da rotulagem e revogou RDCs anteriores: nº 359/2003, nº 360/2003 e nº 54/2012. Estas alterações se baseiam nas avaliações de Sarno et al. (2020) e Mendes et al. (2021), no qual constataram que as informações nutricionais empregadas nos rótulos normatizados pelas resoluções anteriores dificultavam o entendimento por parte dos consumidores.

Com o objetivo de facilitar a compreensão das informações nutricionais pelos consumidores, a ANVISA implantou novas normas de rotulagem nutricional, marcando uma grande inovação no setor. Uma mudança significativa na rotulagem foi a adoção da rotulagem nutricional frontal, que inclui a inserção de uma lupa indicativa de alto teor de sódio, açúcar adicionado e gordura saturada (BRASIL, 2022a). Diante das novas regras de rotulagem, a lupa indicativa deve ser padronizada de cor preta aplicada em fundo branco no intuito de evitar que contrastes prejudiquem a legibilidade das informações para o consumidor (GOMES, 2020).

O símbolo de alto teor indicativo deve ser aplicado a alimentos que excedem limites nutricionais. Para alimentos sólidos e semissólidos, o limite nutricional se refere a produtos que contém 15g ou mais de açúcar adicionado, 6g ou mais de gordura saturada, e/ou 600 mg ou mais de sódio por 100g de produto. Para alimentos líquidos, o símbolo indicativo deve ser aplicado caso o produto contenha 7,5g ou mais de açúcar adicionado, 3g ou mais de gordura saturada e/ou 300mg ou mais de sódio por 100 ml de produto (ANVISA, 2020a).

O símbolo informativo na rotulagem frontal facilita a identificação dos ingredientes que, quando consumidos em excesso, podem ser nocivos à saúde (ANVISA, 2022). De acordo com o Guia Alimentar Para a População Brasileira (BRASIL, 2014), o consumo em excesso de sódio e gorduras saturadas aumenta a probabilidade de doenças cardíacas, enquanto o consumo exagerado de açúcar pode levar a cáries dentárias, obesidade e outras doenças crônicas. As doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), como as doenças cardiovasculares, neoplasias, diabetes mellitus e doenças respiratórias crônicas, são uma das principais causas de morte da população e uma alimentação inadequada, incluindo o consumo excessivo de sódio, está associada a doenças cardiovasculares que influenciam no aumento da pressão arterial (NILSON et al. 2019).

Os alimentos ultraprocessados se caracterizam por conter altos níveis de sódio, gorduras saturadas e açúcar adicionado (BRASIL, 2018), além de serem submetidos a diversas etapas de processamento, com adição de substâncias como corantes, aromatizantes e conservantes. São exemplos de alimentos ultraprocessados os biscoitos recheados, refrigerantes e salgadinhos (IDEC, 2022). As bebidas açucaradas, como refrigerantes e sucos artificiais também estão ligadas a potenciais desregulações hormonais, resistência à insulina, dislipidemia e obesidade devido à sua alta densidade energética (BRASIL, 2022b).

O hábito do consumo de alimentos ultraprocessados, podem resultar em excesso de peso devido ao alto teor de açúcar. Segundo o estudo de Nilson et al. (2019) é estimado que as DCNT associadas à alimentação inadequada resultam em 72,9 mortes por 100 mil habitantes, representando 10,5% do total de mortes precoces de adultos com idades entre 30 anos a 69 anos no Brasil. O consumo regular de alimentos ultraprocessados pode aumentar o risco de obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e outras doenças crônicas (ABESO, 2022).

De acordo com a Global Food (2021) “os alimentos ultraprocessados são o segmento de crescimento mais rápido da cadeia de abastecimento global de alimentos e um importante impulsor do aumento de doenças crônicas não transmissíveis em todo o mundo”. O alto consumo de alimentos ultraprocessados pode estar associado a um maior risco de certos tipos de câncer e até mesmo a uma maior taxa de mortalidade (ANDRETTA et al. 2021).

Neste cenário, a rotulagem nutricional é uma parte do rótulo do produto que oferece detalhes descritivos e quantitativos sobre o conteúdo do item, permitindo ao consumidor tomar decisões informadas sobre a compra (BRASIL, 2023). A rotulagem adequada possibilita ao consumidor identificar o produto, conhecer os ingredientes, entender as instruções de preparo, comparar diferentes produtos e fazer escolhas informadas com base em suas necessidades e preferências (ANVISA, 2023).

Considerando a nova revisão da ANVISA, a rotulagem mais eficaz pode reduzir os impactos de DCNT e/ou outras doenças vinculadas à má alimentação, além de fomentar políticas públicas e estimular a indústria de alimentos a perspectivas sustentáveis (BASTOS, 2020). A apresentação das informações nutricionais nos rótulos dos alimentos até meados de outubro de 2022 era demonstrada de maneira menos intuitiva, visto que a tabela nutricional não possuía cor específica para as letras ou para o fundo, ficando a escolha do fabricante e possibilitando uma invisibilidade de informações. Além disso, a tabela nutricional poderia estar localizada no verso do produto ou de modo lateral no caso de embalagens pequenas, favorecendo menor clareza e entendimento das informações nutricionais para os consumidores (ANVISA, 2021). As alterações na tabela nutricional se

referem à enumeração dos nutrientes de declaração obrigatória, que agora incluem açúcares totais e açúcares adicionados, além de valor energético, carboidratos, proteínas, gorduras totais, gorduras saturadas, gorduras trans, fibra dietética e sódio, que já estavam listados anteriormente (KÖHLER, 2022).

Dada a importância dos rótulos nutricionais para beneficiar a saúde individual e coletiva, torna-se fundamental que a população consiga interpretar os dados contidos nas embalagens dos alimentos. Os consumidores possuem o direito de receber informações claras e adequadas sobre os produtos que consomem. Isso permite que os mesmos façam escolhas mais saudáveis e conscientes.

Dito isso, é importante compreender o conteúdo nutricional dos alimentos, especialmente alimentos ultra processados que apresentam elevados teores de açúcares adicionados, gorduras saturadas e sódio, pois ao reduzir o consumo desses alimentos, é possível prevenir e/ou reduzir problemas de saúde futuros, como obesidade, hipertensão, diabetes e outras DCNT (FERREIRA; LANFER-MARQUEZ, 2007). Neste cenário, a nova rotulagem nutricional utiliza linguagem e símbolos de fácil compreensão para facilitar a interpretação dos dados por consumidores com menor grau de instrução, que podem ter dificuldades com terminologia técnica e complexa (HENNECKA; LORENZATTO, 2021). Além disso, campanhas de educação alimentar e nutricional direcionadas a públicos com menor poder aquisitivo, podem contribuir para a construção de hábitos alimentares mais saudáveis, através de ações que buscam promover a compreensão sobre a importância da leitura dos rótulos (SONG et al. 2021).

Nesse sentido, o objetivo da revisão bibliográfica sistemática é abordar estudos de rotulagem nutricional visando analisar as estratégias de mudança adotadas pela nova rotulagem nutricional brasileira atribuída pela ANVISA, integrando aspectos de influência da rotulagem no comportamento de compra e hábitos alimentares dos consumidores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa literária teve início com a seleção do tema e determinação da lacuna da pesquisa. Com base em uma busca de anterioridade, foi observado um gargalo de pesquisa na temática de rotulagem de alimentos referente a influência da nova rotulagem nutricional brasileira atribuída pela ANVISA no comportamento de compra e hábitos alimentares dos consumidores brasileiros. A pesquisa se justifica pelo fato de que os consumidores realizam compras conscientes quando compreendem as informações nutricionais do produto alimentício.

O processo de seleção dos artigos científicos ocorreu por meio de uma busca através dos bancos de dados on-line PubMed Central (PMC), bases de Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Scientific Eletronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico, Scopus e Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo (SIBi), utilizando os descritores “rotulagem de alimentos”, “ANVISA”, “sódio”, “açúcar adicionado”, e “gordura saturada”. A busca de estudos científicos foi realizada entre março e maio de 2024 nos idiomas português e inglês.

Os critérios de seleção para inserção no estudo estudos foram: Artigos de revisão; Artigos completos; Livros e/ou capítulos de livros; Trabalhos de Conclusão de Curso/Dissertações/Monografias, Pesquisas on-line, e Resoluções/Normativas de Rotulagem Nutricional. A acessibilidade gratuita dos documentos e a adequação ao objetivo e lacuna da pesquisa também foram adotados como critérios de seleção.

Após a triagem baseada nos critérios de seleção, foi realizada uma leitura minuciosa dos títulos e resumos dos estudos científicos e foram selecionados para compor a pesquisa quarenta e seis documentos classificados como artigos científicos, resoluções e normativas. Os principais documentos foram tabulados na Tabela 1, os demais documentos contemplam a discussão da revisão bibliográfica.

Tabela 1- Busca de anterioridade baseada em estudos científicos, resoluções e normativas de rotulagem nutricional.

Classificação	Resultados	Referência
Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) sobre as principais mudanças e modelos de rotulagem.	Destaca as principais alterações na rotulagem e relata as mudanças específicas nos rótulos, fornecendo modelos de rótulos atualizados.	ANVISA, 2021.
Resolução da ANVISA que aprova a Norma sobre Rotulagem Nutricional.	A nova norma da ANVISA melhora a clareza e a legibilidade das informações nutricionais nos rótulos dos alimentos e visa auxiliar os consumidores a fazerem escolhas alimentares mais conscientes.	ANVISA, 2020a.
Relatório preliminar da ANVISA sobre as análise de impacto regulatório sobre rotulagem nutricional.	Relatório que trata das avaliações das mudanças propostas na rotulagem e faz uma análise de custos e benefícios, com informações do impacto na indústria e nos consumidores.	ANVISA, 2019.
Guia Alimentar para a População Brasileira.	Uma iniciativa do Ministério da Saúde do Brasil que estabelece princípios para uma dieta saudável aos brasileiros.	BRASIL, 2014.
Plano de Redução de Açúcares em Alimentos Industrializados.	O Plano de Redução de Açúcares em Alimentos Industrializados elaborado pelo Ministério da Saúde como uma estratégia de saúde pública voltada para a redução da ingestão de açúcares.	BRASIL, 2018.
Pesquisa científica do Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC) sobre como identificar se um alimento é saudável.	É explicado de forma simples e acessível o que é o processamento industrial.	IDEC, 2022.
Pesquisa científica da Global Food Research Program sobre a ameaça global à saúde pública relacionada aos alimentos ultraprocessados.	É discutido sobre a rápida expansão da fabricação de alimentos ultraprocessados e o impulsionamento da demanda destes pela indústria alimentícia. Aborda as intervenções políticas necessárias para combater os impactos negativos na saúde e mortalidade prematura.	GLOBAL FOOD RESEARCH PROGRAM, 2021.
Pesquisa científica da Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e Síndrome Metabólica (ABESO) sobre as mudanças no rótulo.	Pesquisa que discute as mudanças na rotulagem nutricional dos alimentos.	ABESO, 2022.
Pesquisa científica realizada pela Embrapa Agroindústria de Alimentos sobre a percepção dos consumidores brasileiros sobre rotulagem nutricional de alimentos.	Os resultados da pesquisa mostram que sinais familiares como o octógono preto, triângulo preto e círculo vermelho, facilitam a interpretação das informações nutricionais pelos consumidores.	BASTOS, 2020.

Tabela 1- Busca de anterioridade baseada em estudos científicos, resoluções e normativas de rotulagem nutricional. (continuação)

Classificação	Resultados	Referência
Pesquisa científica do Portal Apex-Brasil informando sobre a rotulagem nutricional da França.	A pesquisa trata que, atualmente, o Nutri-score é voluntário na França, Espanha e Bélgica, mas a pressão de grupos de defesa do consumidor busca torná-lo obrigatório em toda a União Europeia.	APEX BRASIL, 2019.
Pesquisa científica da FoodChain ID sobre as regras de rotulagem de alimentos na Europa.	É destacado as principais exigências para a rotulagem de alimentos na União Europeia.	FOODCHAIN ID, 2019.
Pesquisa científica da Verakis Food Academy sobre o Nutri-score, sistema francês de rotulagem nutricional.	O estudo explica sobre o Nutri-score, sistema de rotulagem nutricional do tipo semáforo, que classifica os alimentos com base em seu valor nutricional, variando de A (verde) a E (vermelho).	VERAKIS FOOD ACADEMY, 2019.
Artigo científico sobre o novo padrão brasileiro de rotulagem de alimentos embalados, tratando dos modelos, discursos e controvérsias.	É examinado as disputas em torno do novo padrão de rotulagem nutricional no Brasil. A pesquisa envolveu entrevistas com representantes de entidades ligadas à indústria alimentícia e à sociedade civil.	TEIXEIRA; HOFF, 2021.
Artigo científico sobre rotulagem nutricional e a capacidade de identificar o que está sendo consumido.	É investigado o hábito de leitura dos rótulos de alimentos por consumidores, percebendo uma associação significativa entre o hábito de leitura e a influência na compra dos produtos.	CAVADA et al., 2012.
Artigo científico sobre o perfil de consumidores em relação à qualidade de alimentos e hábitos de compra.	Foi avaliado o perfil de consumidores em relação à qualidade nutricional e tecnológica dos alimentos, bem como seu comportamento no momento de compra. Os resultados mostraram que a maioria dos consumidores avalia os rótulos dos alimentos e a tabela nutricional.	PINHEIRO et al., 2011.
Artigo científico sobre o impacto das advertências sobre alimentos ultraprocessados na intenção de compra.	Trata-se de um estudo experimental em um supermercado virtual no Brasil. Os resultados mostraram que o aumento de 1% no preço dos ultraprocessados levaria à diminuição da aquisição desses produtos.	SARNO, 2020.
Artigo científico que trata do desempenho e a percepção sobre modelos de rotulagem nutricional frontal no Brasil.	Trata-se da avaliação de cinco modelos de rotulagem nutricional frontal, concluindo que os modelos de advertência (octógono, triângulo e círculo) tiveram melhor desempenho em relação ao entendimento do conteúdo nutricional.	BANDEIRA et al., 2021.
Artigo científico sobre a legislação brasileira referente à rotulagem nutricional de alimentos.	É apresentado uma reflexão sobre a evolução histórica da legislação brasileira de alimentos sob o aspecto da rotulagem nutricional.	FERREIRA; LANFER-MARQUEZ, 2007.
Artigo científico sobre a transição nutricional e a epidemiologia da obesidade na América Latina.	Trata da transição nutricional na América Latina, um fenômeno no qual ocorre uma inversão nos padrões de distribuição dos problemas nutricionais ao longo do tempo. Destaca sobre o aumento significativo na prevalência de obesidade em diversos subgrupos populacionais.	KAC; VELÁSQUEZ-MELÉNDEZ, 2003.

Tabela 1- Busca de anterioridade baseada em estudos científicos, resoluções e normativas de rotulagem nutricional. (continuação)

Classificação	Resultados	Referência
Artigo científico sobre como a rotulagem nutricional pode ser uma ferramenta promotora da segurança alimentar e nutricional.	O estudo destaca a relevância de compreender os rótulos e sua influência nas decisões de compra dos consumidores e destaca que a rotulagem fornece informações essenciais aos consumidores, permitindo escolhas mais conscientes e saudáveis.	SILVA et al., 2024.
Artigo científico sobre a transição nutricional no Brasil, referente as análise dos principais fatores.	É destacado o aumento significativo da prevalência de obesidade, associado a doenças crônicas não transmissíveis como diabetes e doenças cardiovasculares.	DE SOUZA, 2010.
Artigo científico sobre as tendências da mortalidade por doenças crônicas não transmissíveis na população adulta brasileira.	Faz estimativas e projeções nacionais e subnacionais para 2030 em relação às tendências de mortalidade e anos de vida ajustados por incapacidade perdidos devido a doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) entre 1990 e 2017 no Brasil.	MALTA et al., 2020.
Estudo científico sobre a influência da Rotulagem Nutricional Frontal (RNF) e do interesse Geral em Saúde (IGS) na intenção de compras dos consumidores.	O estudo examinou como a presença do símbolo informativo da rotulagem frontal e o nível de interesse geral em saúde afetam as escolhas alimentares dos consumidores.	MUNIZ, 2022.
Estudo científico sobre rotulagem.	Estudo realizado pela Embrapa Agroindústria de Alimentos que aborda a importância e regulamentação da rotulagem de alimentos embalados no Brasil. Destaca-se que o rótulo deve estar em conformidade com regulamentos específicos e o Código de Defesa do Consumidor.	MACHADO, 2021.
Estudo científico sobre a rotulagem nutricional frontal em embalagens de alimentos processados e o panorama e evolução da regulamentação internacional.	É revisado a legislação brasileira relacionada a esses rótulos e destaca como as mudanças nos padrões alimentares e a substituição de alimentos naturais por produtos industrializados afetam a saúde pública.	FERREIRA, 2020.
Estudo científico sobre a nova rotulagem nutricional da ANVISA e a influência no comportamento dos consumidores.	São analisadas as mudanças na rotulagem nutricional de alimentos no Brasil e aborda a importância da clareza nas informações para promover escolhas alimentares mais conscientes e saudáveis.	GOMES, 2020.
Estudo científico sobre a política pública fundamentada no direito básico do consumidor à informação clara e adequada referente à nova rotulagem nutricional frontal dos alimentos industrializados.	O estudo apresenta duas propostas de rotulagem frontal: o semáforo nutricional defendido pela indústria alimentícia e o selo de advertência desenvolvido pela sociedade civil em parceria com a Universidade Federal do Paraná.	MAGALHÃES, 2019.
Estudo científico sobre a percepção da nova rotulagem nutricional pelos consumidores e do impacto nos hábitos alimentares durante a pandemia COVID-19.	O estudo investigou a percepção dos consumidores e destaca a importância de informar os consumidores sobre a interpretação correta dos rótulos para promover escolhas alimentares mais saudáveis.	HENNECKA; LORENZATTO, 2021.

Tabela 1- Busca de anterioridade baseada em estudos científicos, resoluções e normativas de rotulagem nutricional. (continuação)

Classificação	Resultados	Referência
Revisão sistemática sobre rotulagem.	Revisão sistemática realizada pela Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (ABIA) que aborda a rotulagem de alimentos e uma análise das tendências de rotulagem ao longo do tempo, identificando áreas de melhoria na rotulagem.	ABIA, 2016.
Revisão bibliográfica sobre rotulagem geral e nutricional de alimentos embalados no Brasil.	Aborda a legislação sobre rotulagem geral e nutricional de alimentos embalados no Brasil visando contribuir aos consumidores a fazer escolhas mais conscientes em relação à saúde e nutrição.	KÖHLER, 2022.
Revisão sobre as mudanças causadas pela nova rotulagem nutricional dos alimentos embalados.	Revisa as mudanças causadas pela nova rotulagem nutricional dos alimentos embalados e conclui que a rotulagem nutricional frontal é uma ferramenta valiosa para os consumidores, permitindo-lhes conhecer a composição dos alimentos e fazer escolhas mais criteriosas.	GONÇALVES et al., 2022.
Proposta de rotulagem nutricional.	Realizada pela ABIA, exemplifica os modelos de rótulos sugeridos e faz discussões sobre a inclusão de informações como calorias, nutrientes e ingredientes alergênicos.	ABIA, 2017.

Fonte: Autores, 2024

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A rotulagem nutricional desempenha um papel importante na informação dos consumidores sobre os alimentos que consomem, auxiliando-os na tomada de decisões conscientes em relação à sua dieta e saúde. Neste contexto, uma variedade de estudos científicos, relatórios e legislações têm sido produzida ao longo dos anos, abordando diferentes aspectos da rotulagem nutricional, desde sua regulamentação até seu impacto na saúde pública e no comportamento do consumidor. A Tabela 1 visa apresentar uma visão sistemática dos resultados obtidos em uma busca de anterioridade de documentos científicos na área de rotulagem de alimentos, permitindo ao leitor identificar áreas para futuras investigações e desenvolvimentos.

O resultado da busca de anterioridades conferiu em nove documentos científicos (que representam 19,56% dos estudos selecionados) que abordam estudos de resoluções e/ou normativas. Quatro documentos (8,70%) tratam da qualidade alimentar, hábitos alimentares e alimentação saudável. Dois documentos (4,35%) discutem sobre alimentos ultraprocessados, alimentos com alto teor de açúcar, sódio e gordura. Vinte e nove documentos (63,04%) enfocam a rotulagem nutricional e dois documentos (4,35%) examinam a transição nutricional.

A rotulagem nutricional é uma seção essencial do rótulo de um produto, fornecendo detalhes descritivos e quantitativos sobre o conteúdo do item, permitindo ao consumidor fazer escolhas informadas sobre a compra (BRASIL, 2023). No Brasil, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 429/2020, intitulada “Rotulagem Nutricional dos Alimentos Embalados”, visa proporcionar informações claras e acessíveis sobre os

componentes nutricionais aos consumidores finais, ajudando-os a optar por alternativas mais saudáveis e conscientes. Esta resolução se aplica a alimentos, bebidas e suplementos alimentares embalados na ausência do consumidor (ANVISA, 2020a).

Aliada à RDC Nº 429/2020, a Instrução Normativa (IN) Nº 75/2020 define os requisitos técnicos para a declaração da rotulagem nutricional em alimentos embalados. Seu objetivo é fornecer diretrizes complementares à RDC nº 429/2020, abrangendo diversos aspectos detalhados em seus anexos. Esses anexos especificam itens como a lista de alimentos com declaração voluntária, valores diários de referência, regras de arredondamento, tamanhos de porções e modelos para a tabela de informação nutricional (ANVISA, 2020b).

No âmbito do Código de Defesa do Consumidor, a rotulagem assume um papel fundamental na garantia do direito ao acesso a informações claras e precisas sobre produtos alimentícios, conforme previsto no artigo 6º, inciso III (BRASIL, 1990). No entanto, apesar de o rótulo ser uma ferramenta fundamental para informar os consumidores sobre os produtos que estão adquirindo, muitas vezes os dados contidos nas embalagens não são facilmente compreendidos por todos os segmentos da população (PINHEIRO et al. 2011).

No estudo conduzido por Pinheiro et al. (2011), o entendimento dos rótulos estava atrelado ao nível de escolaridade. A compreensão da rotulagem nutricional pelos consumidores é influenciada por diversos fatores, como o perfil demográfico e socioeconômico, incluindo níveis de escolaridade, renda e hábitos culturais (HENNECKA; LORENZATTO, 2021). Portanto, a implementação de modelos de rotulagem frontal busca não apenas fornecer informações claras e acessíveis, mas também promover uma escolha alimentar mais consciente e saudável, independentemente do nível educacional dos consumidores.

Na pesquisa realizada por Cavada et al. (2012), 60% das pessoas com ensino superior liam os rótulos e usavam este hábito como fator de decisão ao comprar um alimento, enquanto apenas 36% das que tinham apenas ensino médio tinham o mesmo hábito. Ainda, outros estudos indicaram que o crescente número de indivíduos de classe social mais favorecida e/ou com elevado nível educacional possuem o hábito de selecionar alimentos com base nas informações presentes nos rótulos (HENNECKA; LORENZATTO, 2021; SILVA, 2003).

Essas disparidades na compreensão da rotulagem nutricional podem contribuir para desigualdades de saúde entre diferentes grupos socioeconômicos, uma vez que indivíduos com baixa escolaridade pode estar em maior risco de desenvolver doenças relacionadas à alimentação devido a escolhas alimentares menos saudáveis e a uma menor compreensão das informações nutricionais (SILVA, 2003; MONTEIRO, 2005).

Na pesquisa de Hennecka e Lorenzatto (2021) foi avaliado o perfil do indivíduo que se dedica a leitura de rótulos, concluindo que cerca de 70% são do sexo feminino, com idade entre 30 a 50 anos, sendo que 50% dos indivíduos entrevistados cursaram ao menos o ensino médio. A renda familiar predominante de cerca de 40% dos entrevistados era entre 2,0 a 4,5 salários mínimos.

Ao analisar como a rotulagem nutricional de alimentos influencia o comportamento alimentar, é possível avaliar como a compreensão e leitura dos rótulos dos alimentos pode interferir nos hábitos dos consumidores, minimizando a propensão ao desenvolvimento de problemas de saúde futuros, como obesidade, hipertensão,

diabetes e outras DCNT, visto que o consumo regular de alimentos ultra processados pode aumentar o risco de obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e outras doenças crônicas (ABESO, 2022).

De acordo com a Global Food (2021) “os alimentos ultraprocessados são o segmento de crescimento mais rápido da cadeia de abastecimento global de alimentos e um importante impulsor do aumento de doenças crônicas não transmissíveis em todo o mundo”. O alto consumo de alimentos ultraprocessados pode estar associado a um maior risco de certos tipos de câncer e até mesmo a uma maior taxa de mortalidade (ANDRETTA et al. 2021).

A maioria dos leitores de rótulos relataram o diagnóstico de DCNT, como diabetes, hipertensão e doenças cardíacas, e que a prática da leitura de rótulos se dava pela exigência de qualidade nutricional do produto alimentício devido às comorbidades presentes, sendo as informações nutricionais mais consultadas a de valor calórico e gorduras totais (MONTEIRO, 2005).

Agregada às mudanças citadas, os alimentos *in natura* tornaram-se coadjuvantes no processo e os alimentos ultraprocessados assumem o protagonismo do hábito alimentar da população brasileira. Fatores que, quando combinados, contribuíram para o aumento do sobrepeso e obesidade entre os brasileiros ao longo dos anos, sem distinção social e etária (SILVA; SILVA; SANTOS, 2024). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o ganho de peso excessivo está intimamente relacionado ao aumento expressivo do risco de DCNT, como as doenças cardiovasculares, diabetes e alguns tipos de câncer. O aumento da mortalidade causadas por estas mesmas patologias também chamam atenção, segundo o mesmo órgão (BANDEIRA et al. 2021; DE SOUZA, 2010).

Nos últimos 50 anos, o Brasil passou por profundas alterações demográficas, territoriais e de adoecimento. A população massiva passou a se concentrar nas cidades e as mulheres passaram a ter dois filhos ao invés de oito. O emprego da mão de obra, que antes era do primeiro setor, se desloca para o terceiro, o que influencia diretamente na disponibilidade de tempo, qualidade de vida, enfermidades e exigências alimentares (BATISTA FILHO; RISSIN, 2003). Acompanhando tais mudanças de estilo de vida, as dietas ganham densidade calórica, porém houve diminuição do gasto calórico associado ao comportamento sedentário (KAC; VELÁSQUEZ-MELÉNDEZ, 2003).

Campanhas de educação alimentar e nutricional direcionadas a públicos com menor poder aquisitivo, podem contribuir para a construção de hábitos alimentares mais saudáveis, através de ações que buscam promover a compreensão sobre a importância da leitura dos rótulos (SONG et al. 2021). O envolvimento da sociedade, dos órgãos regulamentadores e do setor industrial nessa discussão evidencia que o futuro da informatização acerca das condições alimentares no Brasil é amplo e sua construção dependerá de vários personagens e processos (TEIXEIRA; HOFF, 2021).

Não há dúvidas que a indústria alimentícia gera impactos na rotina dos brasileiros, bem como, as novas mudanças podem beneficiá-los no que tange ao direito do consumidor quanto à facilidade do acesso e compreensão das informações nutricionais (BANDEIRA et al. 2021). Todavia, no estudo de Teixeira e Hoff (2021) é ressaltada a necessidade de intervenções que respeitem o cenário nacional e a importância de assegurar a segurança alimentar e nutricional dos brasileiros, pois sabe-se que determinados alimentos ultraprocessados podem trazer malefícios e contribuem para o desenvolvimento de doenças, porém, a condenação de alimentos industrializados de modo geral é leviana, uma vez que desconsidera a realidade da situação da fome no Brasil

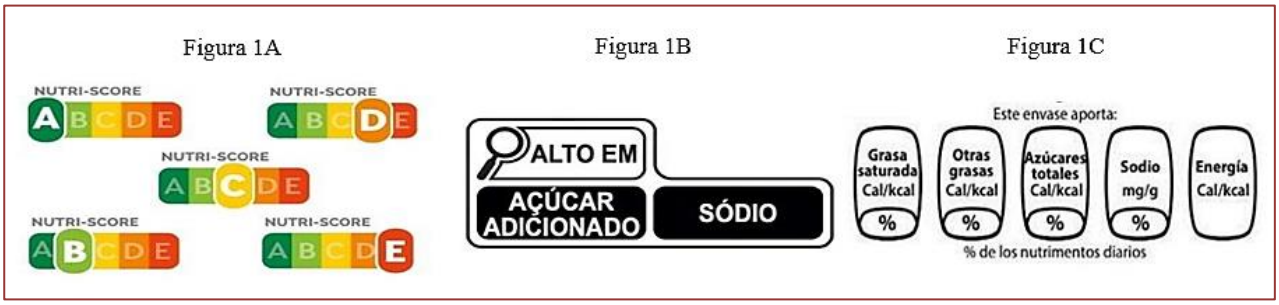
e quantidade de pessoas em situação de vulnerabilidade socioeconômica (PINHEIRO et al. 2011).

Por isso, a capacidade de interpretar os dados nos rótulos dos alimentos é importante para que os consumidores façam escolhas informadas e conscientes. No entanto, essa interpretação pode variar em cada país, uma vez que cada país estabelece suas próprias normas e regulamentos para a rotulagem de alimentos (APEXBRASIL, 2019).

Ao falar das mudanças mais recentes na rotulagem nutricional no Brasil, é preciso discorrer sobre os modelos frontais vigentes em países da américa latina e Europa, pois mesmo que os modelos de rotulagem empregados não se apliquem ao território nacional, podem determinar nas alterações brasileiras (APEX BRASIL, 2019). A escolha do modelo de rotulagem frontal adotado por cada país é resultado de pesquisas que visam avaliar sua eficácia na consecução dos objetivos estabelecidos, como influenciar as decisões de compra dos consumidores (MONTEIRO, 2005).

Os modelos frontais de rotulagem podem ser classificados de acordo com a abordagem e apresentação das informações. Modelos frontais de rotulagem interpretativos orientam sobre um alimento, mas sem especificar sobre nutrientes. O Nutri-score francês, é um sistema de rotulagem nutricional que utiliza uma abordagem tipo semáforo. Ele atribui uma letra e uma cor aos alimentos, indicando seu valor nutricional. A classificação abrange uma escala de A (verde) a E (vermelho), levando em conta critérios como teor de gordura, sal e açúcar, como representado na Figura 1A (APEXBRASIL, 2019; FERREIRA, 2020).

Figura 1. Modelos de rotulagem frontal de alimentos (1A e 1B) e modelo de tabela nutricional reduzida (1C) empregadas como base para a determinação do modelo vigente de rotulagem nutricional adotado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária.



Legenda: Figura 1A: Modelo de rotulagem frontal empregada na França e denominada como Nutri Score. Fonte: VERAKIS, 2019. Figura 1B: Modelo de rotulagem frontal semi-interpretativa. Fonte: BRASIL, 2019. Figura 1C: Modelo de tabela nutricional reduzida.

Fonte: ABIA, 2016.

Os modelos de rotulagem semi-interpretativos especificam sobre nutrientes, utilizando cores (preto, branco, verde, vermelho e amarelo) e símbolos (semáforos) que facilitam a compreensão. A forma atual da rotulagem frontal nutricional brasileira atribuída pela ANVISA, com a inserção da lupa e das cores preta e branca pode ser classificada como semi-interpretativa, conforme observada na Figura 1B (ANVISA, 2018).

Os modelos de rotulagem frontal não interpretativos fornecem informações sobre os nutrientes presentes nos alimentos, sem oferecer orientação explícita ao consumidor. Um exemplo desse tipo de modelo é a tabela nutricional reduzida (Figura 1C), que adota uma abordagem híbrida e neutra em relação à composição do alimento. Este modelo se destaca por apresentar critérios nutricionais sem realizar qualquer tipo de inferência sobre a natureza do alimento (FOOD CHAIN ID, 2019).

A escolha do modelo empregado em cada país depende de pesquisas que testem o alcance dos objetivos desejados, como por exemplo o objetivo de influenciar a intenção de compra dos consumidores. Além disso contribui para o domínio do conceito de saudabilidade e sua aplicação no cotidiano (BANDEIRA et al. 2021).

Em um estudo com consumidores uruguaios, foi verificado que os mesmos trocaram ou abandonaram produtos após a inserção de informações sobre alto teor de gorduras, gorduras saturadas, sódio e açúcares na parte frontal das embalagens (MUNIZ, 2022). Ademais, com base em uma pesquisa conduzida pela Food Chain ID (2019) no ano de 2019, foi constatado que os estudantes têm preferência pelo formato de rotulagem nutricional que oferece informações mais claras e de fácil compreensão. Essa abordagem, ao tornar os dados nutricionais mais acessíveis, pode influenciar escolhas alimentares mais conscientes e saudáveis.

O perfil populacional, influenciado pela escolaridade, renda, hábitos culturais e adoecimentos da população, afeta a percepção de rotulagem de um alimento (HENNECKA; LORENZATTO, 2021). No Brasil, a introdução da rotulagem nutricional frontal (RNF) pela ANVISA em 2020 foi uma estratégia para melhorar a compreensão dos consumidores sobre os alimentos que consomem (ANVISA, 2018).

A RNF tenta contribuir na importante tarefa de fazer os consumidores brasileiros se alimentarem melhor, uma vez que ao empregar o modelo de rotulagem frontal semi-interpretativa, visa expor as informações presentes no alimento na parte frontal das embalagens, onde há maior visibilidade pelos consumidores (SONG et al. 2021). De acordo com a ANVISA (2018) semáforos simplificados e alertas tiveram maior êxito em facilitar a visualização e compreensão sobre nutrientes em maior quantidade, pois os recursos como formas geométricas (círculos, triângulos e octógonos), cores e representações de objetos (lupa ou semáforo), permitem um fácil entendimento sobre o teor de ingredientes e nutrientes presentes nos alimentos.

A partir do exposto pode-se também inferir sobre a alimentação como um determinante de saúde, uma vez que é um ponto central do adoecimento no caso das DCNT. Nesse contexto, a mudança de prioridades nas escolhas alimentares contribuiu para o impacto na mudança das causas de mortalidade do país (FERREIRA, 2020). Ademais, é preciso ressaltar os posicionamentos das entidades que contribuíram para o debate enquanto associação que busca por direitos e luta pela causa coletiva.

O Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC) participa do Conselho Consultivo da ANVISA desde 2008 contribuindo para o desenvolvimento da rotulagem de alimentos a favor do consumidor. Aliado a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e o Núcleo de Pesquisas Epidemiológicas em Nutrição e Saúde (NUPENS/USP) desenvolveram um modelo e o apresentaram ao órgão sanitário (Figura 2A). A proposta apresentada tratava de uma figura triangular na cor preta, com área branca ao redor e o termo “ALTO EM” (ANVISA, 2018).

Figura 2. Propostas de modelo de rotulagem nutricional frontal apresentados para a análise da Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Figura 2A

Figura 2B

Legenda: Figura 2A: Proposta de modelo de rotulagem nutricional frontal apresentado pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor e Universidade Federal do Paraná para análise da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Fonte: IDEC, 2018. Figura 2B: Proposta de modelo de rotulagem nutricional frontal apresentado pela Associação Brasileira da Indústria de Alimentos e Universidade Estadual de Campinas para análise da Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Fonte: ABIA, 2017.

O modelo de rotulagem que a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA) apresentou se referiu ao formato de semáforo nutricional com código de cores que indicam a quantidade de nutrientes em uma porção, na qual a cor verde representa adequação, a amarela reforçava atenção e a vermelha referenciava quantidades acima das recomendadas (Figura 2B). Assim, o Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação da Universidade Estadual de Campinas subsidia o modelo defendido pela ABIA, por estabelecer relação de familiaridade com o consumidor e propiciar identificação imediata (ANVISA, 2018; MALTA et al. 2020).

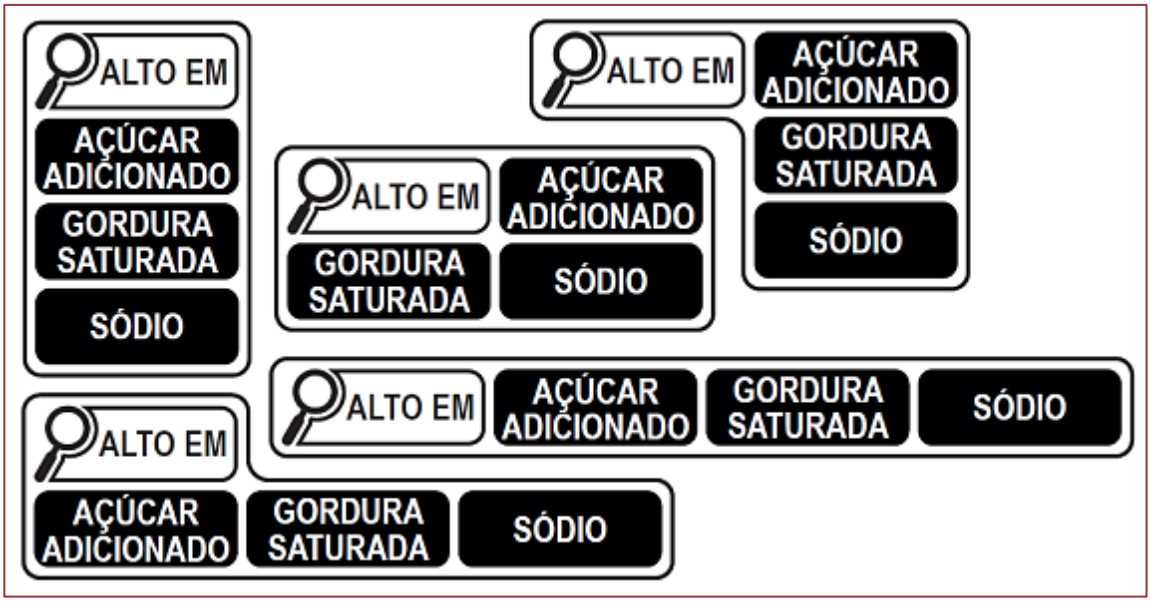
Ambos modelos propostos (Figuras 2A e 2B) apresentam pontos positivos e negativos. O IDEC focou na objetividade e clareza para transmitir a mensagem pretendida, com forma geográfica simples, informação nutricional e que se destacasse na embalagem (Figura 2A). Porém, de acordo com o contraponto apresentado, a exagerada simplificação pode acabar se tornando alarmista.

A proposição da ABIA (Figura 2B), ao tentar se familiarizar com o cotidiano do consumidor acaba por oportunizar a indução ao erro, prejudicando as escolhas alimentares, associando um alimento com a falsa sensação de saudabilidade (MAGALHÃES, 2021).

A RNF atribuída pela ANVISA inclui símbolos indicativos de alto teor de ingredientes prejudiciais à saúde, facilitando a identificação dos alimentos que excedem limites nutricionais (ANVISA, 2022). Utilizando recursos visuais como formas geométricas e cores, a RNF busca fornecer informações claras e acessíveis sobre o conteúdo nutricional dos produtos alimentícios, facilitando a tomada de decisão dos consumidores no momento da compra (SONG et al. 2021). Considerando a nova rotulagem nutricional atribuída pela ANVISA (Figura 3), é esperado que a RNF possa contribuir para minimizar os impactos de DCNT e/ou outras doenças vinculadas à má

alimentação, além de fomentar políticas públicas e estimular a indústria de alimentos a perspectivas sustentáveis (BASTOS, 2020).

Figura 3. Modelo da nova rotulagem nutricional frontal adotada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para alimentos cujas quantidades de açúcares adicionados, gorduras saturadas e sódio sejam iguais ou superiores aos limites definidos pela Instrução Normativa N° 75.



Fonte: ANVISA, 2020b.

As mudanças determinadas na nova rotulagem nutricional determinadas pela ANVISA também afetam a disposição de informações nutricionais, como a lista de ingredientes e os Valores Diários de Referência (VDR) dos nutrientes obrigatórios (ANDRETTA et al. 2021). Essas mudanças visam fornecer aos consumidores informações mais precisas e atualizadas sobre o conteúdo nutricional dos alimentos, contribuindo para uma dieta equilibrada (GONÇALVES et al. 2022).

Na parte traseira da embalagem, outra mudança atribuída à nova rotulagem nutricional estabelecida pela ANVISA se refere à tabela de informação nutricional, que é a lista padronizada do conteúdo energético, conteúdo de nutrientes e de substâncias bioativas presentes no alimento, podendo estar no rótulo do alimento em seus formatos vertical e horizontal (BRASIL, 2022a).

A nova rotulagem nutricional atribuída pela ANVISA também visa incorporar tecnologias inovadoras para fornecer informações adicionais aos consumidores (BUENO et al. 2022). Isso inclui códigos QR que direcionam para páginas da web com detalhes mais abrangentes sobre os produtos, como informações nutricionais, receitas sugeridas e histórias sobre a produção. Essa abordagem interativa e digital atende à crescente demanda por acesso rápido e fácil a dados detalhados (ANVISA, 2020a).

Além disso, as informações nutricionais devem incluir uma nota de rodapé descrita com a frase: “Percentual de valores diários fornecidos por porção”. Antes da adoção das novas regras de rotulagem, a nota de rodapé descrita nas embalagens destacava a

seguinte frase: “Valores Diários com base em uma dieta de 2.000kcal ou 8.400kj. Seus valores diários podem ser maiores ou menores, dependendo de suas necessidades energéticas" (ANVISA, 2022).

4. CONCLUSÃO

A presente revisão literária demonstrou que a nova rotulagem nutricional implementada pela ANVISA facilita a compreensão das informações nutricionais dos alimentos, devido a clareza da apresentação e simplicidade das informações contidas na rotulagem nutricional. A inserção da rotulagem nutricional frontal com o uso de ícones visuais intuitivos pode auxiliar no comportamento de compra dos consumidores brasileiros, estimulando hábitos alimentares mais saudáveis.

Estas conclusões se baseiam em uma busca de anterioridade através de estudos científicos, regulamentações e normativas sobre a temática de rotulagem de alimentos, onde verificaram que a leitura de rótulos é comum entre consumidores com doenças crônicas diagnosticadas e que buscam gerenciar suas condições através de escolhas alimentares mais saudáveis.

Com as dietas modernas mais densas em calorias e o comportamento sedentário, a nova rotulagem é uma ferramenta importante para promover a conscientização sobre a qualidade nutricional dos alimentos. Assim, a nova rotulagem nutricional atribuída pela ANVISA pode contribuir para escolhas alimentares mais informadas e saudáveis, melhorando a qualidade de vida dos consumidores.

REFERÊNCIAS

[1] ABESO. Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e Síndrome Metabólica. **Mudança no rótulo!** O que saber sobre a nova rotulagem dos alimentos. 2022. Acesso em 22 ago. 2024.

[2] ABIA. Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. **Proposta de Rotulagem Nutricional.** 2017. Acesso em 22 ago. 2024.

[3] ABIA. Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. **Revisão Sistemática Sobre Rotulagem de Alimentos.** 2016. Acesso em 22 ago. 2024.

[4] ANDRETTA, V.; SIVIERO, J.; MENDES, K.; MOTTER, F.; THEODORO, H. Consumo de alimentos ultraprocessados e fatores associados em uma amostra de base escolar pública no Sul do Brasil. **Ciência & Saude Coletiva**, v.26, n.4, p.1477– 1488, 2021. DOI: 10.1590/1413-81232021264.04422019

[5] ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 75, DE 8 DE OUTUBRO DE 2020.** Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Ministério da Saúde, Diário Oficial da União Nº 195, de 9 de outubro de 2020, 2020b.

[6] ANVISA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. **Perguntas e Respostas**: Rotulagem Nutricional de Alimentos. Brasília, DF, 3ª ed. 2023. Acesso em 22 ago. 2024.

[7] ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Principais mudanças e modelos.** 2021. Acesso em 22 ago. 2024.

[8] ANVISA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório sobre Rotulagem Nutricional**. Brasília, DF, 2019.

[9] ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 429, DE 8 DE OUTUBRO DE 2020**. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. Ministério da Saúde, Diário Oficial da União Nº 195, de 9 de outubro de 2020, 2020a.

[10] ANVISA. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. **Rotulagem nutricional**: novas regras entram em vigor em 75 dias. Brasília, DF, 2022. Acesso em 22 ago. 2024.

[11] APEX BRASIL. **França pressiona por semáforo nutricional obrigatório**. 2019. Acesso em 22 ago. 2024.

[12] BANDEIRA, L.M.; PEDROSO, J.; TORAL, N.; GUBERT, M.B. Desempenho e percepção sobre modelos de rotulagem nutricional frontal no Brasil. **Revista de Saúde Pública**. v.55, p 19, 2021. DOI: 10.11606/s1518-8787.2021055002395

[13] BASTOS, A. Pesquisa revela percepção dos consumidores brasileiros sobre rotulagem nutricional de alimentos. **Agroindústria, segurança alimentar, nutrição e saúde**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2020.

[14] BATISTA FILHO, M.; RISSIN, A. A transição nutricional no Brasil: tendências regionais e temporais. **Cadernos De Saúde Pública**, v.19, S181–S191, 2003. DOI:10.1590/S0102-311X2003000700019

[15] BRASIL. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1990.

[16] BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população Brasileira**. Brasília, DF, 2 ed., 158 p., 2014. Acesso em 22 ago. 2024.

[17] BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano de Redução de Açúcares em Alimentos Industrializados.** Brasília, DF, 32p. 2018. Acesso em 22 ago. 2024.

[18] BRASIL. Ministério da Saúde. **Qual é a relação entre consumo de ultraprocessados e risco de mortalidade?** Brasília, DF, 2022b. Acesso em 22 ago. 2024.

[19] BRASIL. Ministério da Saúde. **Rotulagem de alimentos**. Brasília, DF, 2023. Acesso em 22 ago. 2024.

[20] BRASIL. **Modelos de rotulagem nutricional frontal de alto conteúdo de nutrientes críticos comparado a outros modelos de rotulagem frontal nutricional**: uma revisão sistemática. Brasília: 57p. 2019.

[21] BRASIL. Vigilância Sanitária do Estado de Santa Catarina. **Rotulagem nutricional**: novas regras entram em vigor em 75 dias. 2022a.

[22] BUENO, L.C.; SOUZA-SILVA, T.G.de.; ALVES, C.G.L.; REZENDE, M.L.; AZEVEDO, L. A influência dos rótulos nutricionais no cuidado em saúde: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development.** v.11, n.6, e52311629486, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29486

[23] CAVADA, G.S.; PAIVA, F.F.; HELBIG, E.; BORGES, L.R. Rotulagem nutricional: você sabe o que está comendo? **Brazilian Journal of Food Technology**. v.15, p.84-88, 2012. DOI: 10.1590/S1981-67232012005000043

[24] FERREIRA, A.B.; LANFER-MARQUEZ, U.M. Legislação brasileira referente à rotulagem nutricional de alimentos. **Revista de Nutrição**. v.20, n.1, 2007. DOI: 10.1590/S1415-52732007000100009

[25] FERREIRA, A.C.S. **Rotulagem nutricional frontal em embalagens de alimentos processados:** panorama e evolução da regulamentação internacional. 2020. Trabalho de Conclusão (Bacharelado em Farmácia e Bioquímica). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Acesso em 22 ago. 2024.

[26] FOODCHAIN ID. **Quais são as regras de rotulagem de alimentos na Europa?** 2019.

[27] GLOBAL FOOD RESEARCH PROGRAM. Alimentos ultraprocessados: Uma ameaça global à saúde pública. **Global Food Research Program**, 11p. 2021. Acesso em 22 ago. 2024.

[28] GOMES, J.F.O. **A nova rotulagem nutricional da ANVISA e a influência no comportamento dos consumidores**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito). Universidade de Brasília, DF, 42 p. 2020.

[29] GONÇALVES, J.; ARÔXA, C.; LÁSCARIS, M.; NETA, M. Mudanças causadas pela nova rotulagem nutricional dos alimentos embalados: revisão. **Alimentos e nutrição:** aspectos atuais. São Paulo: Editora Agron Food Academy, 1ed. 2022.

[30] HENNECKA, A.; LORENZATTO, D. **Avaliação da Percepção da Nova Rotulagem Nutricional pelos Consumidores e do Impacto nos Hábitos Alimentares Durante Pandemia COVID-19.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos). Instituto Federal de Santa Catarina, São Miguel do Oeste, 2021.

[31] IDEC. Instituto Brasileiro De Defesa Do Consumidor. **Como saber se um alimento é saudável?** 2022. Acesso em 22 ago. 2024.

[32] IDEC. Instituto de Defesa de Consumidores. **Rotulagem nutricional frontal no Brasil:** Empoderando consumidores para fazerem escolhas mais saudáveis. 2p. 2018.

[33] KAC, G.; VELÁSQUEZ-MELÉNDEZ, G. A transição nutricional e a epidemiologia da obesidade na América Latina. **Cadernos de Saúde Pública**. n.19, Sup.1, 2003. DOI: 10.1590/S0102-311X2003000700001

[34] KÖHLER, M. **Rotulagem geral e nutricional de alimentos embalados no Brasil**: uma revisão bibliográfica. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

[35] MACHADO, R.L.P. **Rotulagem**. Brasília, DF: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2021. Acesso em 22 ago. 2024.

[36] MAGALHÃES, S.M.S. **Nova rotulagem nutricional frontal dos alimentos industrializados:** política pública fundamentada no direito básico do consumidor à informação clara e adequada. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Constituição e Sociedade). Programa de Mestrado Profissional em Direito Econômico e Desenvolvimento. Instituto Brasiliense de Direito Público- IDP, Brasília, 2019.

[37] MALTA, D.C.; DUNCAN, B.B.; SCHMIDT, M.I.; TEIXEIRA, R.; RIBEIRO, A.L.P.; FELISBINO-MENDES, M.S.; MACHADO, I.E.; VALASQUEZ-MELENDEZ, G.; BRANT, L.C.C.; SILVA, D.A.S.; PASSOS, V.M.A.; NASCIMENTO, B.R.; COUSIN, E.; GLENN, S.; NAGHAVI, M. Trends in mortality due to non-communicable diseases in the Brazilian adult population: national and subnational estimates and projections for 2030. **Population health metrics.** v.18, p.1-14, 2020. DOI: 10.1186/s12963-020-00216-1

[38] MENDES, A.P. Impacto potencial da rotulagem frontal na escolha de alimentos ultraprocessados: um estudo de base populacional. **Cadernos de Saúde Pública**. v.1, p.37, 2021.

[39] MONTEIRO, R.A.; COUTINHO, J.G.; RECINE, E. Consulta aos rótulos de alimentos e bebidas por frequentadores de supermercados em Brasília, Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública.** v.18, n.3, p.172-177, 2005. DOI: 10.1590/S1020-49892005000800004

[40] MUNIZ, M.M. **A influência da Rotulagem Nutricional Frontal (RNF) e do Interesse Geral em Saúde (IGS) na intenção de compras dos consumidores.** 2022. Dissertação (Mestrado em Comportamento do Consumidor). Programa de Mestrado Profissional em Comportamento do Consumidor, Escola Superior de Propaganda e Marketing, São Paulo, 2022.

[41] NILSON, E.A.F.; ANDRADE, R.D.S.; BRITO, D.A.de.; OLIVEIRA, M.L.de. Custos atribuíveis a obesidade, hipertensão e diabetes no Sistema Único de Saúde, Brasil, 2018. **Revista Panamericana de Salud Pública**. n.43, e32, 2020. DOI: 10.26633/RPSP.2020.32

[42] PINHEIRO, F.A.; CARDOSO, W.S.; CHAVES, K.F.; OLIVEIRA, A.S.B.; RIOS, S.A. Perfil de Consumidores em Relação à Qualidade de Alimentos e Hábitos de Compras. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde**. v.13, n.2, p.95-102, 2011.

[43] SARNO, F. Impacto das advertências sobre alimentos ultraprocessados na intenção de compra: um estudo experimental em um supermercado virtual no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**. v.10, p.36, 2020.

[44] SILVA, C.K.S; SILVA, F.A.R.; SANTOS, N.E.S. Rotulagem nutricional e consumidor: uma ferramenta promotora da segurança alimentar e nutricional. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales.** v.17, n.2, e5364-e5364, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.2-293

[45] SILVA, M.Z.T. **Influência da Rotulagem na Rotulagem Nutricional sobre o Consumidor.** 2003. 67 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

[46] SONG, J.; BROWN, M.K.; TAN, M.; MACGREGOR, G.A.; WEBSTER, J.; CAMPBELL, N.R.C.; TRIEU, K.; MHURCHU, C.N.; COBB, L.K.; HE, F.J. Impact of color-coded and warning nutrition labelling schemes: A

systematic review and network meta-analysis. **PLoS Medicine**. v.18, n.10, e1003765–e1003765, 2021. DOI: 10.1371/journal.pmed.1003765

[47] SOUZA, E.B.de. Transição nutricional no Brasil: análise dos principais fatores. **Cadernos UniFOA**. n.13, p. 49–53, 2010. DOI: 10.47385/cadunifoa.v5.n13.1025

[48] TEIXEIRA, L.V.; HOFF, T.M.C. Novo padrão brasileiro de rotulagem de alimentos embalados: modelos, discursos e controvérsias. **Organicom**. v.18, n.36, p.212-224, 2021. DOI: 10.11606/issn.2238-2593.organicom.2021.185093

[49] VERAKIS FOOD ACADEMY. **Nutri-score:** sistema francês de rotulagem nutricional. 2019.

CAPÍTULO

03

Homogeneização de produtos a alta pressão: uma revisão sistemática

Yuri Vinicius da Silva, Alice Reis Figueiredo, Jucimara Silva, Karoliny Carvalho Lysike, Maria Luciana Barbosa Mendes, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Emerson Adriano Guarda, Patrícia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

A procura por produtos à base de plantas que substituam os alimentos de origem animal tem crescido cada vez mais, dentre os fatores que contribuem para isso encontra-se a conscientização ambiental. A produção de alimentos proveniente de animais, como laticínios e carnes, é responsável por impactos ambientais superiores ao da produção vegetal, isso ocorre pela maior necessidade de energia, o que desencarreta uma maior emissão de gases que contribuem com o efeito estufa. Outro motivo para o consumo de alimentos vegetais são as razões éticas, de saúde e estilo de vida (VOGELSANG-O'DWYER *et al*., 2021).

Devido a elevada busca pela saudabilidade, cresce o interesse por bebidas vegetais, funcionais, naturais, nutritivas e saborosas. Essas bebidas utilizam como matéria prima frutas, vegetais, grãos, nozes e sementes, despertando a curiosidade de consumidores com restrições alimentares (SU *et al*., 2024).

Os métodos de conservação mais comuns para garantir a segurança alimentar e prolongar a vida útil de bebidas à base de vegetais são a pasteurização e a esterilização. Contudo, a utilização de calor intenso pode degradar os nutrientes presentes nessas bebidas, como compostos bioativos (vitaminas, compostos voláteis e compostos fenólicos, entre outros), além de afetar a qualidade nutricional e sensorial (VASQUEZ-ROJAS *et al*., 2023a).

Por conta disso, crescem as pesquisas relacionadas à utilização de tecnologias não térmicas como forma de garantir a segurança alimentar e diminuir os efeitos negativos causados pelo calor na composição, potencial nutricional e características sensoriais dos alimentos (VASQUEZ-ROJAS *et al*., 2023a).

A homogeneização de alta pressão (HPH) é considerada uma das alternativas mais promissoras aos tratamentos térmicos tradicionais para conservação de alimentos, atuando na inativação de microrganismos e enzimas. A ação da HPH consiste em um pistão que força a bebida a passar por pequenos orifícios causando estresse mecânico, como efeito de cisalhamento, hidrodinâmico e cavitação. Esse processo reduz o tamanho das partículas resultando em uma distribuição mais uniforme (YU *et al*., 2021; VASQUEZ-ROJAS *et al*., 2023a; SU *et al*., 2024).

Em estudos com novas metodologias de conservação de alimentos, definir as análises físico, químicas e biológicas que devem realizadas para avaliação de como e o quanto e quais as características do alimento são alteradas após a utilização dessas metodologias é um desafio frente a variedade de técnicas analíticas e parâmetros que podem ser avaliados.

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo realizar uma pesquisa através de uma revisão sistemática da literatura com foco em saber quais alimentos foram processadas por homogeneização de alta pressão, quais as pressões mais utilizadas e quais os parâmetros mais analisados para verificação de como a utilização dessa metodologia de conservação de alimentos afeta as características destes.

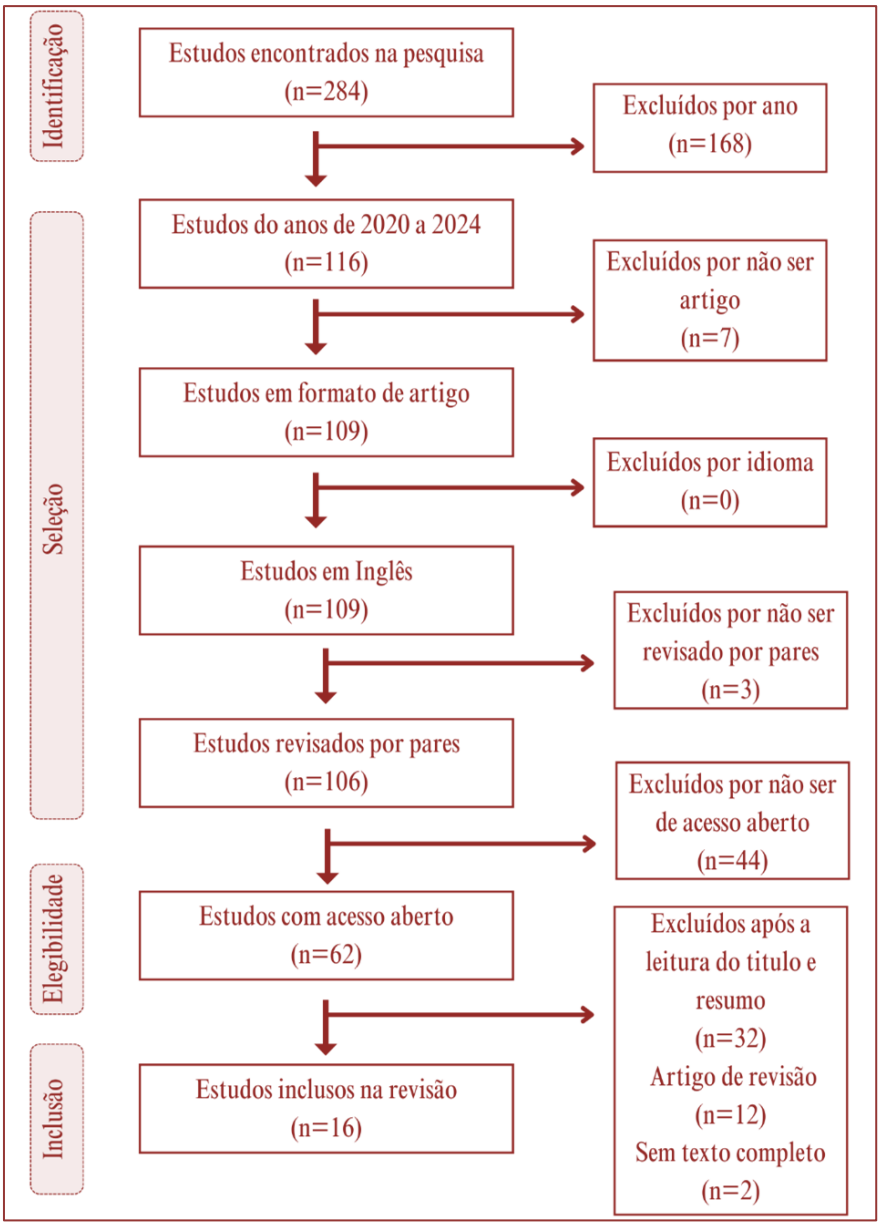
2. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado através de uma revisão sistemática da literatura segundo os procedimentos realizados por Almeida (2023) e Semensato (2023). A plataforma utilizada para a busca das referências bibliográficas foi a periódicos CAPES, onde foi empregado o seguinte termo de busca: *"high pressure homogeneization and beverages"*. Foram selecionadas pesquisas dos últimos 5 anos, publicadas em inglês, no formato de artigo científico, revisado por pares, de acesso aberto, sem levar em consideração a localização do estudo. Foram excluídas pesquisas por: estarem nos formatos de resumo, livro, capítulo de livro, artigo de revisão bibliográfica e boletins informativos, título ou resumo não condizente com o tema da pesquisa, assim como também foram excluídos trabalhos cuja a metodologia de estudo não envolvesse homogeneização de alta pressão e trabalhos focados apenas em análises reológicas, ou seja, as pesquisas focadas apenas em determinação do comportamento do fluido, e que não levassem em conta a conservação e a preservação de compostos presentes no alimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão a pesquisa foi realizada conforme o fluxograma apresentado na figura 1. A busca inicial encontrou 284 estudos, todavia, foram excluídos 168 por não pertencerem ao período de 2020 a 2024, 7 por não serem artigos, 0 por não estar em inglês, 3 por não serem revisado por pares, 44 por não serem de acesso aberto, 12 por serem revisão bibliográfica, 2 por não possuir texto completo e 32 pelos temas e/ou resumos não se encaixarem nos critérios de escolha. Assim, restaram um total de 16 artigos para serem lidos na íntegra e avaliados.

Figura 1 - Fluxograma da revisão sistemática.



Fonte: Próprio Autor, 2024.

Os trabalhos foram colocados em ordem alfabética e codificados para sua utilização nas tabelas abaixo. Na tabela 1 é possível visualizar as referências bibliográficas dos 16 artigos utilizados nesta revisão sistemática.

Tabela 1 – Referências encontradas pela revisão.

Nº	Referência	Nº	Referência	Nº	Referência	Nº	Referência
1	CICHOŃSKA *et al.*, 2022	5	JIAO *et al.*, 2023	9	SENTANDREU *et al.*, 2020	13	VASQUEZ-ROJAS *et al.*, 2023b
2	CODINA-TORRELLA *et al.*, 2023	6	LI *et al.*, 2022	10	SOTO *et al.*, 2022	14	VOGELSANG-O'DWYER *et al.*, 2021
3	GOTTARDI *et al.*, 2021	7	PASBAN *et al.*, 2023	11	SU *et al.*, 2024	15	YU *et al.*, 2021
4	HINESTROZA-CÓRDOBA *et al.*, 2021	8	SADEGHIAN *et al.*, 2023	12	VASQUEZ-ROJAS *et al.*, 2023a	16	ZHANG *et al.*, 2024

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Cada trabalho foi identificado com um número para referenciá-los nas próximas tabelas. Na tabela 2 estão expostas as análises realizadas para verificação do efeito do processamento sobre o alimento, os produtos estudados onde se utilizou a tecnologia de HPH e as pressões de homogeneização utilizadas nesses estudos.

Tabela 2 – Produtos, pressões e análises realizadas

Nº	Produto	Pressão	Parâmetros analisados	Método analítico
1	Bebida fermentada à base de feijão	50/5 MPa	Cor	Colorimetria
			Estabilidade física	Espectrofotometria
			Análise de tamanho de partícula	Difratometria a laser
2	Bebidas de noz-de-tigre	200 e 300 MPa	Determinação de compostos voláteis	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
3	Suco de cenoura	0,1 e 150 MPa	Analise microbiológica de leveduras; coliformes totais, mesófilos totais e lattococci	Contagem de placas
			Cor	Colorimetria
			Determinação de compostos voláteis	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
			Determinação de Carotenoides	Cromatografia liquida de alta eficiência
			pH	Potenciometria
4	Suco de lulo	100 e 150 MPa	Sólidos solúveis	Refratometria
			Densidade	Picnometria
			Polpa suspensa e turbidez	Espectrofotometria
			Análise de tamanho de partícula	Difratometria a laser
			Cor	Colorimetria
			Teor fenólico total, flavonoides e capacidade antirradicalar	Espectrofotometria
			Resistência do *Lactobacillus reuteri* CECT 925	Simulação *in vitro*
			Análise microbiológica	Contagem de placas
			Acidez total	Potenciometria
5	Iogurte de nozes	0, 30, 60, 90, 120 e 150 MPa	pH	Potenciometria
			Tamanho de partícula	Difratometria a laser
			Luminosidade	Colorimetria
			Dureza e a consistência	Analisador de textura
			Capacidade de retenção de água	Gravimetria
			Microestrutura	Microscopia confocal de varredura a laser
			Solubilidade proteica	Espectrofotometria
6	Proteína de amendoim em pó	800 bar	Frações proteicas	Eletroforese
			Estabilidade da solução proteica	Analisador de estabilidade de dispersão
			Tamanho das partículas	Difratometria a laser
			Hidrofobicidade superficial	Espectrofotometria
			Estrutura secundária da proteína	Espectrofotometria
			Propriedades morfológicas da proteína	Microscopia eletrônica de varredura
			Pureza do conteúdo	Cromatografia liquida de alta eficiência
7	Crocina	200, 400 e 600 bar	Microestrutura	Microscopia óptica
			Tamanho das partículas	Difratometria a laser
			Estabilidade	Volumetria
			Atividade de eliminação de radicais livres	Espectrofotometria (DPPH)

Tabela 2 – Produtos, pressões e análises realizadas (continuação)

Nº	Produto	Pressão	Parâmetros analisados	Método analítico
8	Óleo de linhaça	600 Bar	Atividade oxidativa	Espectrofotometria – UV-VIS
			Estabilidade oxidativa	Espectrofotometria
			Perfil dos ácidos graxos	Cromatografia gasosa acoplada a detector de ionização de chama
			Sólidos solúveis totais (ºbrix)	Refratometria
9	Suco de tangerina	150 MPa	Acidez total	Volumetria
			Turvação	Espectrofotometria - UV-VIS
			Ácido ascórbico	Cromatografia liquida de alta eficiência
			Atividade da pectina metilesterase (PME)	Potenciometria
			Cor	Colorimetria
			Tamanho das partículas	Difratometria a laser
			Digestão estática *in vitro*	Simulação *in vitro*
			Análise de carotenóides	Cromatografia liquida de alta eficiência
			Flavonoides	Cromatografia líquida de resolução rápida (RRLC-DAD)
			Atividade de pectina metilesterase	Volumetria
10	Néctar de manga	200 e 300 MPa	Atividade de polifenol oxidase	Espectrofotometria
			Cor	Colorimetria
			Tamanho das partículas	Difratometria a laser
11	Bebida de semente de lótus e bulbo de lírio	0, 20, 40, 60, 80 e 100 MPa	Microestrutura	Microscopia eletrônica de varredura
			Índice de sedimentação	Método sedimentológico
			Cor	Colorimetria
			Turbidez	Nefelometria
			Sólidos solúveis totais (ºbrix)	Refratometria
			pH	Potenciometria
			Conteúdo de ácido ascórbico	Volumetria
			Avaliação sensorial	Escala de intensidade
12	Bebida de Castanha do Pará	50, 100, 150 e 180 MPa	Cinzas, umidade e matéria seca	Gravimetria
			Teor de proteína total pela análise de nitrogênio	Método de kjeldahl
			Teor de lipídeos	Método de Folch
			Carboidratos	Diferença
			pH	Potenciometria
			Acidez total	Volumetria
			Sólidos solúveis totais (ºbrix)	Refratometria
			Cor	Colorimetria
			Microestrutura	Microscopia óptica
			Tamanho/distribuição das partículas	Difratometria
			Avaliação sensorial	Escala de intensidade
			Aceitabilidade global	Escala hedónica
13	Bebida de Castanha do Pará	50, 100, 150 e 180 MPa	Teor de proteína total pela análise de nitrogênio	Método de Kjeldahl
			Cinzas	Gravimetria
			Carboidratos totais	Método fenol-ácido sulfúrico
			Extração de lipídeos	Método de Folch
			Perfil de ácidos graxos	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
			Ácidos graxos livres	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
			Fitoquímicos	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
			Teor de fenólicos totais	Espectrofotometria
			Compostos fenólicos individuais	Cromatografia liquida de alta eficiência uv/vis
			Análise de Minerais	Espectrofotometria
			Capacidade antioxidante	Espectrofotometria (DPPH e ABTS+)
14	Leite a base de tremoço	180 e 780 bar	Teor de proteína total pela análise de nitrogênio	Método de Kjeldahl
			Teor de lipídeos	Método de Soxhlet
			Perfil de aminoácidos	Cromatografia iônica - UV/VIS
			Determinação de mono-, di-, polióis- e galactooligossacarídeos	Cromatografia de troca aniônica de alto desempenho com detecção amperométrica pulsada
			Solubilidade proteica	Método de Kjeldahl
			Tamanho das partículas	Medidor de tamanho de difração a laser
			Estabilidade	Centrifugação
			Cor	Colorimetria
			Microestrutura	Microscopia confocal de varredura a laser
			Índice glicêmico	Cromatografia liquida de alta eficiência-RID

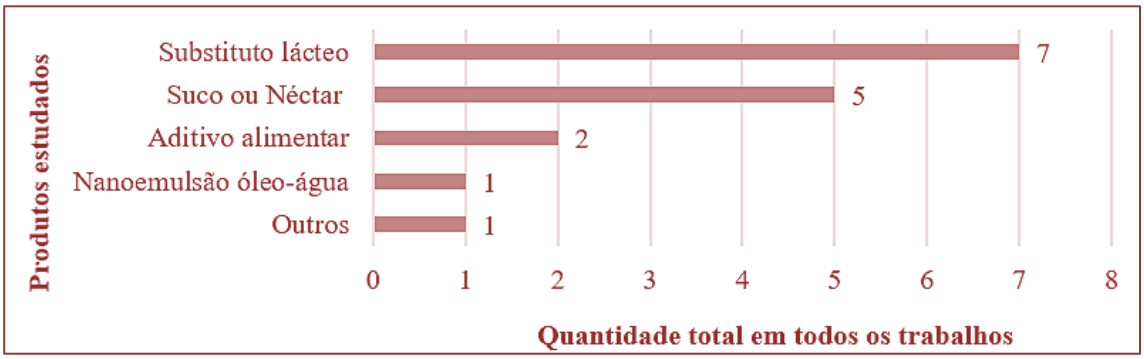
Tabela 2 – Produtos, pressões e análises realizadas (continuação)

Nº	Produto	Pressão	Parâmetros analisados	Método analítico
15	Suco de laranja	30, 50, 100 e 150 MPa	Determinação de peso molecular	Cromatografia de exclusão de tamanho de alto desempenho acoplada a espalhamento de luz laser multiangular, detector de índice reflexivo (RI) e detector ultravioleta (UV);
			Determinação da composição de monossacarídeos	Cromatografia iônica - PAD
			Determinação do Grau de Metilação	Volumetria
			Morfologia superficial	Microscopia Eletrônica de Varredura
			Sedimentação de Polpa	Volumetria
			Tamanho das partículas	Difratometria a laser
			Atividade de pectina metilesterase	Volumetria
16	Leite vegetal de linhaça	20 Mpa	Digestão Simulada In Vitro	Simulação *in vitro*
			Distribuição de tamanho de partícula e tamanho médio de partícula	Difratometria a laser
			Teor de lipídeos	Método de Soxhlet
			Microestrutura	Microscopia confocal de varredura a laser
			Determinação de compostos voláteis	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas

Fonte: Próprio Autor, 2024

Ao todo foram estudados 16 produtos distintos, os quais foram classificados em 5 grupos para a criação de um gráfico, conforme mostra a figura 2. Os produtos homogeneizados a altas pressões mais pesquisados, foram os substitutos lácteos e os sucos ou néctares, contendo 43,75% e 31,25% dos estudos sobre eles, respectivamente. Logo em seguida estão os aditivos alimentares (12,5%), as nanoemulsões (6,25%) e outros (6,25%).

Figura 2 – Produtos estudados nos trabalhos.



Fonte: Próprio Autor, 2024.

Nos trabalhos estudados houve a aplicação de 17 pressões distintas, na figura 3 estão expressas as pressões mais utilizadas durante os tratamentos de homogeneização. Os valores que na unidade de medida bar foram convertidos para a unidade MPa.

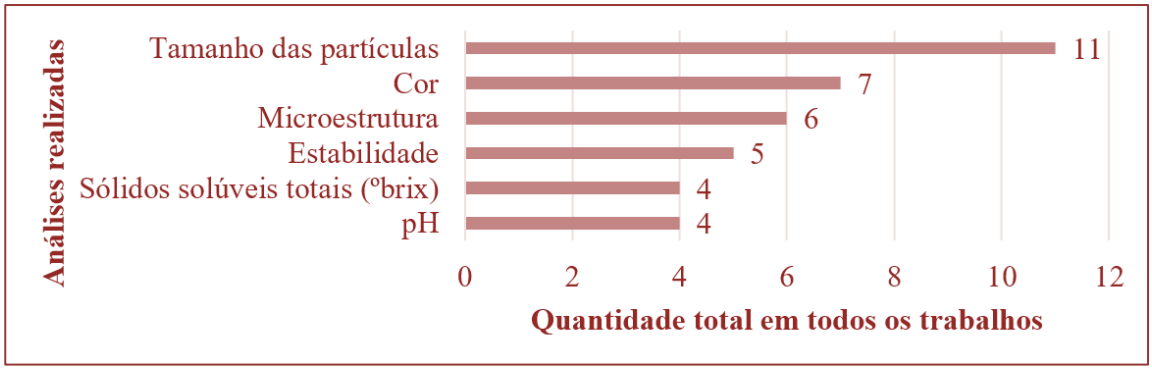
Figura 3 – Pressões mais utilizadas nos produtos.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

As 5 pressões mais utilizadas durante os processamentos foram 150 MPa (16,67%), 100 MPa (11,90%), 50 MPa (9,52%), 60 MPa (9,52%) e 200 MPa (7,14%). As demais pressões representaram 4,76% (0, 20, 30, 40, 80, 180 e 300 MPa) e 2,38% (0.1, 18, 78, 90 e 120 MPa) dos estudos avaliados.

Os parâmetros mais analisados por todos os trabalhos foram contabilizadas para a construção de um gráfico (figura 4), com intuito de verificar quais são as análises realizadas com maior frequência nos produtos que passam pelo processo de homogeneização a alta pressão.

Figura 4 – Parâmetros mais analisados nos produtos.



Fonte: Próprio Autor, 2024.

Os parâmetros analisados com mais frequência foram tamanho das partículas (10,09%), cor (6,42%), microestrutura (5,50%), estabilidade (4,59%), pH (3,67%) e sólidos solúveis totais (3,67%). Todas os demais parâmetros que não aparecem na figura 2 foram realizadas menos de 4 vezes.

A tabela 3 mostra resumidamente os objetivos e as conclusões de cada estudo realizado.

Tabela 3 – Objetivos e conclusões dos trabalhos

Nº	Objetivo	Conclusão
1	Fazer a comparação da qualidade e propriedades de armazenamento de produtos com estrutura de suspensão coloidal.	As características da bebida independem das culturas utilizadas, apresentando cor amarelada, alta estabilidade contra defasagem durante o armazenamento refrigerado e mesmo caráter reológico.
2	Determinar o efeito da pasteurização convencional e da homogeneização de ultra-alta pressão no perfil volátil de bebidas de nozes de tigre.	A homogeneização de ultra-alta pressão teve menor impacto nos compostos voláteis do que a pasteurização convencional, podendo assim, produzir alimentos mais frescos.
3	Determinar o efeito da combinação da homogeneização a alta pressão com cultura de biocontrole na qualidade e estabilidade do suco de cenoura.	O tratamento de homogeneização a alta pressão combinado com o agente de biocontrole *L. lactis* LBG2 prolongou a vida útil do suco de cenoura em três dias sob 10 °C de armazenamento e 7 dias sob 4 °C de armazenamento, em comparação com suco não tratado.
4	Investigar a utilização do suco de lulo como substrato na produção de uma bebida potencialmente probiótica com *Lactobacillus reuteri*.	O tratamento de homogeneização a alta pressão afetou o tamanho das partículas, resultando em um suco com maior estabilidade de polpa e cor diferenciada caracterizada pela perda de brilho e aumento da intensidade da cor em direção ao vermelho.
5	Combinar a tecnologia de torrefação e homogeneização de alta pressão para resolver as deficiências dos atuais iogurtes vegetais.	A noz pode ser utilizada para fabricação de iorgute e quando homogeneizado acima de 120 MPa apresenta maior estrutura de gel.
6	Caracterização das propriedades físico-químicas da proteína do amendoim através dos tratamentos de cozimento hidrotérmico, homogeneização de alta pressão e hidrólise enzimática.	Os tratamentos de homogeneização de alta pressão, hidrólise enzimática e cozimento em alta temperatura, quando combinados, foram capazes de melhorar significativamente a solubilidade e a estabilidade da solução de proteína de amendoim.
7	Comparar a influência da concentração de polissacarídeo aniônico exsudado e da homogeneização de alta pressão propriedades de emulsões duplas contendo crocina para a produção de bebidas emulsionadas.	Os resultados mostraram que a implementação do tratamento homogeneização de alta pressão e a adição de polissacarídeo aniônico exsudado podem afetar significativamente o tamanho da partícula e o potencial zeta das emulsões duplas, proporcionando estabilidade das emulsões contra a coalescência e a floculação.
8	Comparar o efeito da homogeneização de alta pressão e ultrassônica, como métodos de fabricação, bem como do óleo essencial de cravo e do extrato de casca de romã, como antioxidantes naturais, nas características de nanoemulsões de óleo em água de linhaça.	A homogeneização de alta pressão resultou em distribuição monomodal e, portanto, melhor estabilidade física (menor índice de cremosidade) ao longo do tempo.
9	Avaliar os efeitos da homogeneização de alta pressão e dos tratamentos térmicos tradicionais na bioacessibilidade dos carotenóides e flavonóides do suco de tangerina.	Apesar da homogeneização de alta pressão ter obtido melhor efeito na retenção de ácido ascórbico, a pasteurização mostrou efeito significativamente maior na bioacessibilidade dos flavonóides. A homogeneização de alta pressão reduziu significativamente o teor de carotenóides, mas mostrou um efeito positivo na sua bioacessibilidade.
10	Comparar os efeitos da alta pressão hidrostática (HHP) e da homogeneização de alta pressão (HPH) na atividade enzimática do néctar de manga.	Nenhuma das tecnologias utilizadas são adequadas para controlar a atividade da pectina metilesterase sem o auxílio do processamento térmico. Em relação à atividade de polifenol oxidase, a homogeneização em alta pressão apresentou boa redução da atividade a 300 MPa. A homogeneização em alta pressão apresentou bons resultados na viscosidade e comportamento fluido.
11	Determinar os efeitos de diferentes tratamentos de homogeneização nas propriedades físicas e qualidades sensoriais da bebida de semente de lótus e bulbo de lírio.	A homogeneização melhorou a turbidez e a estabilidade, reduziu as partículas da bebida e aumentou a viscosidade, fazendo com que as bebidas parecessem ter propriedades de gel fracas. As amostras tratadas abaixo de 60 MPa tiveram maior aceitação sensorial.
12	Avaliar os efeitos da homogeneização em alta pressão para a inativação de cepas de *E. coli* em bebidas de castanha-do-pará, e desenvolver um método alternativo para preservação a frio.	A homogeneização em alta pressão foi eficaz na inativação da *E. coli* nas aplicações de 50 a 180 MPa/75 °C, 100 a 180 MPa/55 °C e 180 MPa/25 °C. Assim, a homogeneização em alta pressão foi capaz de produzir uma bebida de castanha-do-pará com alta qualidade sensorial armazenada em condições frias (5 °C) por até 21 dias.

Tabela 3 – Objetivos e conclusões dos trabalhos (continuação)

Nº	Objetivo	Conclusão
13	Avaliar os efeitos da homogeneização em alta pressão para a inativação microbiana e compará-los à pasteurização sobre os principais nutrientes e compostos bioativos da bebida de castanha-do-pará após os tratamentos e durante o armazenamento refrigerado a 5 °C.	Não houve alterações relevantes no perfil de ácidos graxos ou ácidos graxos livres após ambos os tratamentos, foram observadas apenas perdas de esqualeno (24%) e γ-tocoferol (32%). Os fenóis totais foram reduzidos em uma faixa de 24 a 30% em comparação com as amostras não tratadas (85,3 mg/L) devido a ambos os tratamentos.
14	Avaliar a composição nutricional, propriedades físico-químicas/funcionais, estabilidade física e propriedades glicêmicas *in vitro* de leite à base de tremoço.	O tremoço azul e branco pode ser utilizado para produzir leite vegetal. A pressão de 780 bar obteve partículas de menor tamanho e maior estabilidade. O leite de tremoço branco mostrou maior estabilidade da emulsão com taxas de separação comparáveis às do leite de vaca, e o leite de tremoço azul foram menos estáveis e apresentaram mais cremosidade.
15	Avaliar os efeitos da homogeneização em alta pressão no suco de laranja quanto as propriedades estruturais, estabilidade da pectina e correlação entre a modificação da estrutura da pectina e a estabilidade do suco.	A homogeneização em alta pressão melhorou a estabilidade do suco de laranja, reduziu o tamanho das partículas, inibiu a sedimentação, despolimerizou a pectina, aumentou o teor de ácido galacturônico e a linearidade da pectina, além de diminuir a contribuição de peso molecular, ramificação e ramnogalacturonan.
16	Avaliar os efeitos dos métodos de processamento nas propriedades físico-químicas e nutritivas da linhaça no trato digestivo.	Após os tratamentos a distribuição do óleo de linhaça no leite vegetal foi mais uniforme e todo o sistema ficou mais estável devido à moagem úmida aliada à homogeneização em alta pressão. A estrutura celular dentro do leite vegetal não interrompeu totalmente o processo de digestão, resultando numa menor taxa de libertação de ácidos gordos. Devido ao alto grau de fragmentação e ao pequeno tamanho dos grânulos, mais lipídios foram liberados do leite vegetal para o fluido digestivo. Simultaneamente, o grau de oxidação lipídica do leite vegetal aumentou durante a digestão devido à maior interface óleo-água sem proteção.

Fonte: Próprio Autor, 2024

Tendo em vista os dados de conclusão dos trabalhos presentes na tabela 3, é possível observar que o processo de homogeneização a alta pressão foi capaz de inibir a sedimentação, melhorar a turbidez, inativar a bactéria *E. coli*, prolongar a vida útil de bebidas, menor impacto nos compostos voláteis do que a pasteurização convencional e afetar o tamanho das partículas, resultando em partículas menores, melhor estabilidade física, bons resultados na viscosidade e no comportamento fluido e uma melhor estrutura de gel.

Com base nas conclusões, vale ressaltar que o tratamento de homogeneização a pressão teve menor impacto nos compostos voláteis do que a pasteurização convencional, preservando melhor esses compostos resultando, assim, em alimentos mais frescos. Além disso, o tratamento foi capaz de prolongar a vida útil de bebidas e de criar bebidas com alta qualidade sensorial.

4. CONCLUSÃO

A revisão sistemática encontrou 284 pesquisas, onde após a aplicação dos filtros restaram 16 artigos para serem lidos na integra. Os alimentos homogeneizados a altas pressões mais estudados foram os substitutos lácteos (43,75%) e os sucos ou néctares (31,25%). As pressões mais utilizadas foram 150 MPa (16,67%), 100 MPa (11,90%), 50 MPa (9,52%), 60 MPa (9,52%) e 200 MPa (7,14%). Os parâmetros mais analisados foram tamanhos das partículas (10,09%), cor (6,42%), microestrutura (5,50%), estabilidade

(4,59%), pH (3,67%) e sólidos solúveis totais (3,67%). Além disso, foi possível observar que o processo de homogeneização a alta pressão tem menor impacto nos compostos voláteis do que a pasteurização convencional, é eficaz na inativação do microrganismo *E. coli,* e no melhoramento da estrutura da mistura como menor tamanho de partículas, melhor estabilidade física e estrutura de gel, bons resultados na viscosidade e no comportamento fluido, inibição de sedimentação e melhoramento de turbidez. Além disso, o tratamento foi capaz de prolongar a vida útil de bebidas e de criar bebidas com alta qualidade sensorial.

REFERÊNCIAS

[1] ALMEIDA, A.R.; OLIVEIRA, R. M. F. D.; MANTOVANI, H. B.; ROCHA, A. N. D. C. Impacts of the Pandemic on the Developmentof Children with ASD: a Systematic Review. Rev. Bras. Ed. Esp., Vol. 29, p.243-260, 2023.

[2] CICHOŃSKA, P.; DOMIAN, E.; ZIARNO, M. Application of Optical and Rheological Techniques in Quality and Storage Assessment of the Newly Developed Colloidal-Suspension Products: Yogurt-Type Bean-Based Beverages. Sensors, Vol. 22, 2022.

[3] CODINA-TORRELLA, I.; GALLARDO-CHACÓN, J.J.; JUAN, B.; GUAMIS, B.; TRUJILLO, A.J. Effect of Ultra-High Pressure Homogenization (UHPH) and Conventional Thermal Pasteurization on the Volatile Composition of Tiger Nut Beverage. Foods, Vol. 12, 2022.

[4] GOTTARDI, D.; SIROLI, L.; BRASCHI, G.; ROSSI, S.; FERIOLI, F.; VANNINI, L.; PATRIGNANI, F.; LANCIOTTI, R. High-Pressure Homogenization and Biocontrol Agent as Innovative Approaches Increase Shelf Life and Functionality of Carrot Juice. Foods, Vol. 10, 2021.

[5] HINESTROZA-CÓRDOBA, L.I.; BETORET, E.; SEGUÍ, L.; BARRERA, C.; BETORET, N. Fermentation of Lulo Juice with Lactobacillus reuteri CECT 925. Properties and Effect of High Homogenization Pressures on Resistance to In Vitro Gastrointestinal Digestion. Appl. Sci, Vol. 11, 2021.

[6] JIAO, B.; WU, B.; FU, W.; GUO, X.; ZHANG, Y.; YANG, J.; LUO, X.; DAI, L.; WANG, Q. Effect of roasting and high-pressure homogenization on texture, rheology, and microstructure of walnut yogurt. Food Chemistry: X, Vol. 20, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101017

[7] LI, J.; SHI, A.; LIU, H.; HU, H.; WANG, Q.; ADHIKARI, B.; JIAO, B.; PIGNITTER, M. Effect of Hydrothermal Cooking Combined with High-Pressure Homogenization and Enzymatic Hydrolysis on the Solubility and Stability of Peanut Protein at Low pH. Foods, Vol. 11, 2022.

[8] PASBAN, A.; MOHEBBI, M.; MOUSAVI, S. F.; REZAEI, A.; KHALILIAN-MOVAHHED, M.; MOZAFARPOUR, R. Effect of high-pressure homogenization treatment and Persian gum on rheological, functional properties and release kinetic of crocin from double emulsions. LWT, Vol. 187, 2023.

[9] SADEGHIAN, S. F.; MAJDINASAB, M.; NEJADMANSOURI, M.; HASHEM HOSSEINI, S. M. Effects of natural antioxidants and high-energy fabrication methods on physical properties and oxidative stability of flaxseed oil-in-water nanoemulsions. Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 92, 2023.

[10] SENTANDREU, E.; STINCO, C. M.; VICARIO, I. M.; MAPELLI-BRAHM, P.; NAVARRO, J. L.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. High-pressure homogenization as compared to pasteurization as a sustainable approach to obtain mandarin juices with improved bioaccessibility of carotenoids and flavonoids. Journal of Cleaner Production, Vol. 262, 2020.

[11] URANGA-SOTO, M.A.; VARGAS-ORTIZ, M.A.; LEÓN-FÉLIX, J.; HEREDIA, J.B.; MUY-RANGEL, M.D.; CHEVALIER-LUCIA, D.; PICART-PALMADE, L. Comparison of the Effect of Hydrostatic and Dynamic High Pressure Processing on the Enzymatic Activity and Physicochemical Quality Attributes of 'Ataulfo' Mango Nectar. Molecules, Vol. 27, 2022.

[12] SEMENSATO, M. T.; PILATTI, L. A.; SILVA, F. D.; PINHEIRO, N. A. M. A systematic review of studies on self-regulated learning in Higher Education Mathematics. Bolema, Vol. 37, p.218-249, 2023.

[13] SU, J.; QIU, X.; PEI, Y.; ZHANG, Z.; LIU, G.; LUAN, J.; NIE, J.; LI, X. Physical Stability of Lotus Seed and Lily Bulb Beverage: The Effects of Homogenisation on Particle Size Distribution, Microstructure, Rheological Behaviour, and Sensory Properties. Foods, Vol. 13, 2024.

[14] VASQUEZ-ROJAS, W.V.; PARRALEJO-SANZ, S.; MARTIN, D.; FORNARI, T.; CANO, M.P. Validation of High-Pressure Homogenization Process to Pasteurize Brazil Nut (Bertholletia excelsa) Beverages: Sensorial and Quality Characteristics during Cold Storage. Beverages, Vol. 9, 2023a.

[15] VASQUEZ-ROJAS, W.V.; MARTÍN, D.; FORNARI, T.; CANO, M.P. Brazil Nut (Bertholletia excelsa) Beverage Processed by High-Pressure Homogenization: Changes in Main Components and Antioxidant Capacity during Cold Storage. Molecules, Vol. 28, 2023b.

[16] VOGELSANG-O'DWYER, M.; SAHIN, A. W.; ZANNINI, E.; ARENDT, E. K. Physicochemical and nutritional properties of high protein emulsion-type lupin-based model milk alternatives: effect of protein source and homogenization pressure. Vol. 102, 2021.

[17] YU,W.; CUI,J.; ZHAO,S.; FENG,L.; WANG,Y.; LIU,J.;ZHENG,J. Effects of High-Pressure Homogenization on Pectin Structure and Cloud Stability of Not-From-Concentrate Orange Juice. Frontiers in Nutrition, Vol. 8, 2021.

[18] ZHANG, M.; CHEN, Y.; CHEN, H.; DENG, Q. Fatty Acid Release and Gastrointestinal Oxidation Status: Different Methods of Processing Flaxseed. Foods, Vol. 13, 2024.

CAPÍTULO

04

Métodos analíticos para quantificação de biofilmes formados por microrganismos: uma revisão sistemática

Antonio José de Sousa Caminha, Kariny Oliveira da Silva, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos, Patrícia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

As Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA) são definidas e reconhecidas na literatura científica como as síndromes causadas por cerca de 250 microrganismos que são contaminantes de alimentos e água, são consideradas pelos órgãos de saúde global, como um risco real a saúde da população e estão especialmente presentes em países em desenvolvimento, sendo responsável por uma perda considerável de vidas e prejuízos econômicos a sociedade em geral. Não obstante também, agravos de saúde por meio destas doenças podem desencadear pandemias globais (Silva et al, 2021).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 600 (seiscentos) milhões de pessoas contraem doenças transmitidas por alimentos e água (DTHA) contaminados por ano, o que representa para a instituição que 1 (um) em cada 10 (dez) habitantes do planeta sofreram algum tipo de transtorno de saúde por meio de DTHA. Desses doentes, cerca de 420 mil morrem em função da doença (PAHO/OMS, 2022).

As bactérias representam o maior grupo de microrganismos responsável por veicular doenças e causar transtornos de saúde, por meio dos alimentos. Os fatores que colaboram para isso são: a falta de higiene na obtenção da matéria prima, no processamento, envase, armazenamento e na distribuição, bem como as precárias condições de conservação destes alimentos, favorecendo a disseminação dos contaminantes.

Os milhares de espécies de bactérias são diferenciados por muitos fatores, incluindo a morfologia (forma), composição química, as necessidades nutricionais, atividades bioquímicas e fontes de energia. Nesse sentido, estima-se que 99% das bactérias existentes na natureza, encontrem-se na forma de biofilmes (TORTORA, 2017). Um glicocálice que auxilia as células em um biofilme a se fixarem ao seu ambiente-alvo e umas às outras é denominado substância polimérica extracelular (SPE). A SPE protege as células dentro do glicocálice, facilita a comunicação entre as células e permite a sobrevivência celular pela fixação a várias superfícies em seu ambiente natural (TORTORA, 2017; SHAO et al 2019).

Dada a importância do microrganismo para a saúde pública, bem como a necessidade de obtenção de informações sobre a segurança dos alimentos produzidos no Brasil, a detecção de patógenos formadores de biofilmes, torna-se elemento importante para traçar estratégias de prevenção e eliminação destes riscos. O acesso a métodos para tal procedimento enfrenta barreiras como a multiplicidade e complexidade destes, dificuldade de acesso e aplicação por parte da indústria. O presente artigo busca apresentar os métodos mais empregados por pesquisadores, citados nos artigos levantados por meio de revisão sistemática.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Um levantamento do estado da arte é uma necessidade para qualquer pesquisador, a revisão sistemática de literatura busca estabelecer um levantamento formal do estado da arte de forma consistente e planejada, implementando critérios para seleção adequada de pesquisas visando a utilidade destas, busca por informações que tenham relevância sobre o tema pesquisado, tem sido relatado por pesquisadores como uma estratégia para reduzir predisposições e erros aleatórios que podem ocorrer em uma revisão tradicional (OLIVEIRA-CARDOSO et al, 2022).

O uso frequente de pesquisas de forma direcionada aos interesses do pesquisador pode gerar artigos com tendencias e desvios que não apresentam toda a realidade do estado da arte sobre a o tema, o que levou a comunidade científica a adotar padrões mais rigorosos para a identificação e descrição de pesquisas anteriores, avaliação sistemática de pesquisas seguindo protocolos rigorosos, e coleta sintética e coerente de evidências no universo de pesquisas selecionado. Neste sentido surgiram ferramentas facilitadoras para a realização da revisão sistemática de literatura, como o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses*), que possui 17 diretrizes compondo um fluxograma de informações (MOHER et al., 2015).

O diferencial no que se refere a revisão sistemática de uma revisão de literatura, um resumo ou visão geral de um determinado tópico, está na estrutura de que a revisão sistemática de literatura busca a resposta para uma questão, eliminando vícios de pesquisa e possíveis tendencias do pesquisador. A disponibilização do planejamento que ocorre antes da revisão permite que outros comparem, reproduzam e julguem a validade do protocolo e da revisão, prevenindo assim decisões arbitrárias com relação à inclusão e exclusão de dados(OLIVEIRA-CARDOSO et al, 2022).

A pesquisa utilizou a base de dados disponibilizadas pela Capes periódicos (https://www-periodicos-capes-gov-br.ez6.periodicos.capes.gov.br/index.php/buscador-primo.html) usando as palavras-chaves "*biofilm, measure* e *bacteria*" utilizando o buscador boleano "*and*", obtendo como resultado 2065 artigos. Aplicando os seguintes filtros; revisado por pares, em inglês, desde 2018, acesso aberto, apenas artigos, que contenham no título e no resumo a palavra *biofilm*, foram excluídos 1986 artigos, com seleção de 79, usados como base para a presente revisão sistemática, destes, apenas 27 apresentaram de forma clara os dados relevantes nos seus materiais e métodos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos da análise dos artigos, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Observa-se uma redução no número de estudos, em virtude da inadequação metodológica de parte dos artigos, os quais não descreveram com clareza os métodos analíticos empregados para quantificação de biofilmes microbiológicos. A ausência dessa informação impediu a extração dos dados relevantes para o objetivo desta revisão

QUADRO 1 – Artigos científicos selecionados da plataforma Capes e métodos analíticos utilizados para medir biofilmes.

ITEM	REFERENCIA	MÉTODO	Microrganismo	Título do artigo
1	Olivares E. et al, 2020.	Através do teste clínico Biofilm Ring Test ® (cBRT), medição de agregação de microesferas magnéticas em poços de uma microplaca de 96 poços, sob um campo magnético gerado por mini-ímãs colocados sob cada fundo de poço da placa.	*P. aeruginosa*	Clinical Biofilm Ring Test ® revela o papel potencial dos β-lactâmicos na indução da formação de biofilme por *P. aeruginosa* em pacientes com fibrose cística.
2	Irankhah, S, et al, 2018.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 630 nm (Espectrofotômetro Multi-Volume BioTek Epoch™)	*Pseudomonas spp. e Acinetobacter spp.*	Degradação de fenol altamente eficiente em um reator de biofilme de leito móvel em lote: beneficiando-se de bactérias que melhoram o biofilme. *World J Microbiol Biotechnol*
3	Raveendra, N. et al, 2022.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 630 nm (Espectrofotômetro Multi-Volume BioTek Epoch™)	*Acinetobacter baumannii Klebsiella pneumoniae*	Bacterial Biofilms on Tracheostomy Tubes. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*
4	Corte, L, et al , 2019.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO a 405 nm. Já a atividade microbiana foi avaliada com o XTT ((2,3-bis-(2-metoxi-4-nitro-5-sulfofenil) - 2H - tetrazolium-5-carboxanilida	gênero *Candida (C. albicans, C. glabrata, C. parapsilosis e C. tropicalis)* e de *Staphylococcus aureus*	Biofilm Specific Activity: A Measure to Quantify Microbial Biofilm. *Microorganisms*
5	PF Christabel *et al* 2018	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 630 nm	*Aggregatibacter actinomycetemcomitans*	Exploração de *Chlorella sp.* como antibacteriano para *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* biofilme
6	Dudek et al, 2023.	Microscopias eletrônicas de varredura e confocal.	*Staphylococcus aureus* , *Streptococcus pyogenes* , *Candida albicans* , *Pseudomonas aeruginosa* e *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*	Atividade in vitro de pastilhas contendo dicloridrato de octenidina contra patógenos formadores de biofilme da cavidade oral e garganta.
7	Ivanovic, V. et al, 2022.	(UFCs) e teste de MTT e visualizada por MEV.	*Streptococcus mitis , Candida albicans , Staphylococcus aureus e Escherichia coli)*	Desvendando a atividade antibiofilme de uma nova resina Nanogold para dentaduras e epíteses.
8	Kaleva MD. et al, 2023	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 630 nm.	*Escherichia coli*	Resistência Antimicrobiana e Formação de Biofilme de Escherichia coli Isolada de Fazendas de Suínos e Arredores na Bulgária
9	Gawish S, et al, 2019.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 630 nm	*Pseudomonas aeruginosa*	Occurrence and biofilm-forming ability of Pseudomonas aeruginosa in the water output of dental unit waterlines in a dental center in Alexandria, Egypt. Germs.
10	Gaire, U. et al 2021.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 630 nm	*Staphylococcus aureus*	Suscetibilidade a antibióticos, produção de biofilme e detecção do gene mec A entre isolados de Staphylococcus aureus de diferentes amostras clínicas
11	Pérez-Granda, MJ, et al, 2020.	microscopia eletrônica de varredura (MEV).	*P. aeruginosa ATCC 15442, ou E. coli ATCC 25922, ou S. aureus ATCC 29213*	Solução de descontaminação digestiva seletiva usada como "terapia de bloqueio" previne e erradica o biofilme bacteriano em um modelo de bancada in vitro
12	Madani, A. et al, 2022.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 630 nm	*E. coli*	Avaliação de Fatores de Virulência, Resistência a Antibióticos e Formação de Biofilme de *Escherichia coli* Isolada de Leite e Produtos Lácteos em Isfahan, Irã.
13	Khosravi, Y, et al. 2020.	Instrumentação de imagem de optodo planar - Instituto Max Planck em Bremen, Alemanha. PCR quantitativo (qPCR) para determinar a presença e abundância relativa das espécies alvo.	*Veillonella spp. Fusobactérias spp. e S. oralis*	Uso de um optodo planar de oxigênio para avaliar o efeito de microsprays de alta velocidade na penetração de oxigênio em biofilmes dentais humanos in vitro

QUADRO 1 – Artigos científicos selecionados da plataforma Capes e métodos analíticos utilizados para medir biofilmes. (continuação)

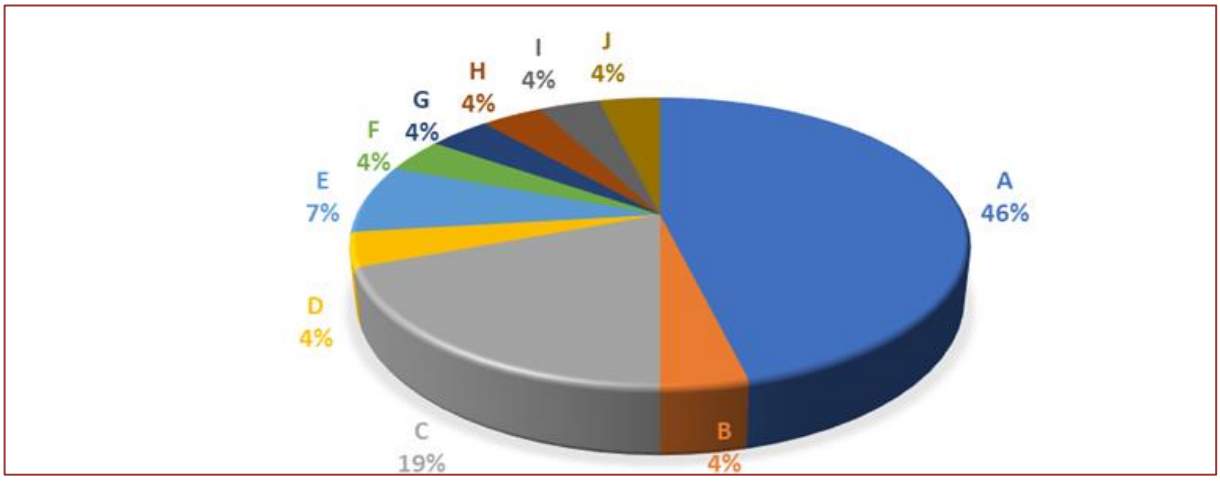
ITEM	REFERENCIA	MÉTODO	Microrganismo	Título do artigo
14	Batista, I. R. et al, 2019.	Ágar vermelho Congo (CRA) e genes icaA e icaD por PCR foram utilizados para caracterização do biofilme. *S. aureus*	*Staphylococcus aureus*	Determinação da suscetibilidade antimicrobiana e produção de biofilme em *Staphylococcus aureus* isolados de jalecos brancos de estudantes universitários da área da saúde.
15	Mãe, G, et al 2022.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 620 nm	*Y. enterocolitica*	Vesículas derivadas da membrana externa de *Yersinia enterocolitica* inibem o estágio inicial de formação de biofilme.
16	Liu, J. et al, 2022.	microscópio eletrônico de varredura (MEV)	*Salmonella enterica* sorovar *Typhimurium*	Propionato e Butirato Inibem a Formação de Biofilme de Salmonella Typhimurium Cultivada em Meios de Laboratório e Modelos Alimentares.
17	Guła, G, et al, 2020	analisador de impedância IMP-STM32	*Pseudomonas aeruginosa*	A aplicação de espectroscopia de impedância para monitoramento de biofilme de *Pseudomonas spp.* durante infecção por fagos
18	Weng, PL, et al., 2019	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 595 nm.	*E. faecalis e E. faecium*	Padrões de suscetibilidade a antibióticos, formação de biofilme e gene esp entre enterococos clínicos: existe alguma associação?
19	Senobar Tahaei AS, et al, 2021.	Detecção de produção de biofilme pelo método de adesão ao tubo e pelo método Congo Red Agar.	*Staphylococcus aureus*	Correlação entre a formação de biofilme e o fenótipo resistente a antibióticos em isolados de *Staphylococcus aureus*: um estudo baseado em laboratório na Hungria e uma revisão da literatura
20	Goswami, AG, et al, 2023.	visualizar imagens de biofilme 3D combinadas com coloração fluorescente usando microscopia confocal de varredura a laser (CSLM)	*Staphylococcus aureus* e outros microrganismos presentes em ferimentos.	Biofilme e cicatrização de feridas: da bancada à beira do leito.
21	Eydou, Z. Et al, 2020.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 560 nm	*Staphylococcus aureus, S. mutans.*	Investigação sobre o efeito da vitamina C no crescimento e potencial de formação de biofilme de *Streptococcus mutans* isolados de pacientes com cárie dentária
22	Boyd, JD, et al 2019.	Tubos de centrífuga de 15 ml com cultura, medidos a densidade óptica (DO) a 600 nm, utilizando um GE Ultrospec 8000.	*S. mutans*	Adesão de biofilmes em titânio medida por espalação induzida por laser
23	Gabe, V. et al, 2019	Análise de Biofilme pelo Método de Perfilometria Óptica, Análise de Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 560 nm	*Streptococcus mutans*	Efeitos supressivos do galato de octila na formação de biofilme de *Streptococcus mutans*, acidogenicidade e expressão gênica
24	Cieplik, F. et. al. 2019.	Os biofilmes foram visualizados por microscopia eletrônica de varredura.	*Actinomyces naeslundii, Actinomyces odontolyticus e S. mutans*	Antimicrobial Efficacy of Alternative Compounds for Use in Oral Care toward Biofilms from Caries-associated Bacteria in Vitro
25	Bakht, M. et al 2022.	Método colorimétrico (Cristal violeta, fixação com álcool). método MTP de acordo com Stepanović et al. Medido por espectofotometria com DO 550 nm	*P. aeruginosa ATCC 27.853*	Fenótipo e determinação genética da resistência a desinfetantes comuns entre cepas de *Pseudomonas aeruginosa* produtoras e não produtoras de biofilme de amostras clínicas no Irã.
26	Patange, D. et al, 2019.	Contagem de placas (PC) e ensaio XTT.	*Escherichia coli, Salmonella enterica, Listeria monocytogenes, Pseudomonas fluorescens*	High Voltage Atmospheric Cold Air Plasma Control of Bacterial Biofilms on Fresh Produce
27	Hou, J et al, 2019.	Os biofilmes foram visualizados usando um OCT Ganymede II (Thorlabs Ganymede, Newton, NJ, EUA) com um feixe de luz branca de comprimento de onda central de 930 nm	*Staphylococcus epidermidis 252 Streptococcus mutans UA15, Streptococcus oralis J22,*	Densidade bacteriana e estrutura do biofilme determinada por tomografia de coerência óptica.

Os métodos colorimétricos de acordo com Stepanović et al, 2004; com leitura por espectrofotometria, foram os métodos mais aplicados (12 artigos), a metodologia descrita

pela maioria dos pesquisadores apresenta a seguinte sequência para análise das diversas amostras. As cepas estudadas de placas de ágar frescas (de acordo com o meio adequado para cada microrganismo) são inoculadas em 3 ml de infusão de cérebro e coração (BHI) com glicose a 1% e incubadas por 24 horas a 37 ^{0} C em condições estacionárias e diluídas 1 em 20 com meio fresco. Poços individuais de placa de microtitulação estéril de polipropileno de 96 poços são preenchidos com 200 µL das culturas diluídas e alíquotas de 200 µL de apenas BHI + glicose a 1% dispensadas em cada um dos oito poços da coluna 12 da placa de microtitulação para servir como controle (para verificar ligação inespecífica e esterilidade da mídia). Após a incubação (24 horas a 37 ° C), o conteúdo das placas de microtitulação de cada uma é removido batendo levemente nas placas inferiores, lavado com 200 µL de solução salina tampão fosfato (1 × PBS pH 7,2) para remover células planctônicas. As placas são invertidas e enxugadas em papel toalha e deixadas secar por 15 min. Organismos aderentes formando biofilmes na placa passam por fixação com acetato de sódio a 2% e corados com cristal violeta a 0,1% p/v e incubados à temperatura ambiente durante 15 min. Após a remoção da solução cristal violeta, os poços foram lavados com 1 × PBS para remover o corante não ligado. Finalmente, todos os poços são preenchidos com 200 µL de etanol (95%) para liberar o corante das células. A densidade óptica (DO) de bactérias aderentes coradas é determinada com um microleitor de absorbância no comprimento de onda que varia de 405 a 630 nm.

Outra metodologia que foi citada por mais de um autor foi a microscopia eletrônica de varredura (05 artigos), uso de PCR para detecção e quantificação de material genético bacteriano (02 artigos) e correlação com a produção de biofilmes ou uso de kits prontos para detecção rápida na formação de biofilmes (01). Afigura 1 apresenta o resultado das metodologias utilizadas pelos autores dos artigos pesquisados.

Figura 1 – Metodologias utilizadas por autores; A – método colorimétrico + espectofotometria; B - Biofilm Ring Test ®; C – MEV + Confocal; D – Imagem de optodo planar; E – PCR; F – Analisador de Impedância; G - Congo Red Agar; H – CSLM; I - OCT Ganymede II; J - PC e ensaio XTT;



Fonte: Arquivo pessoal

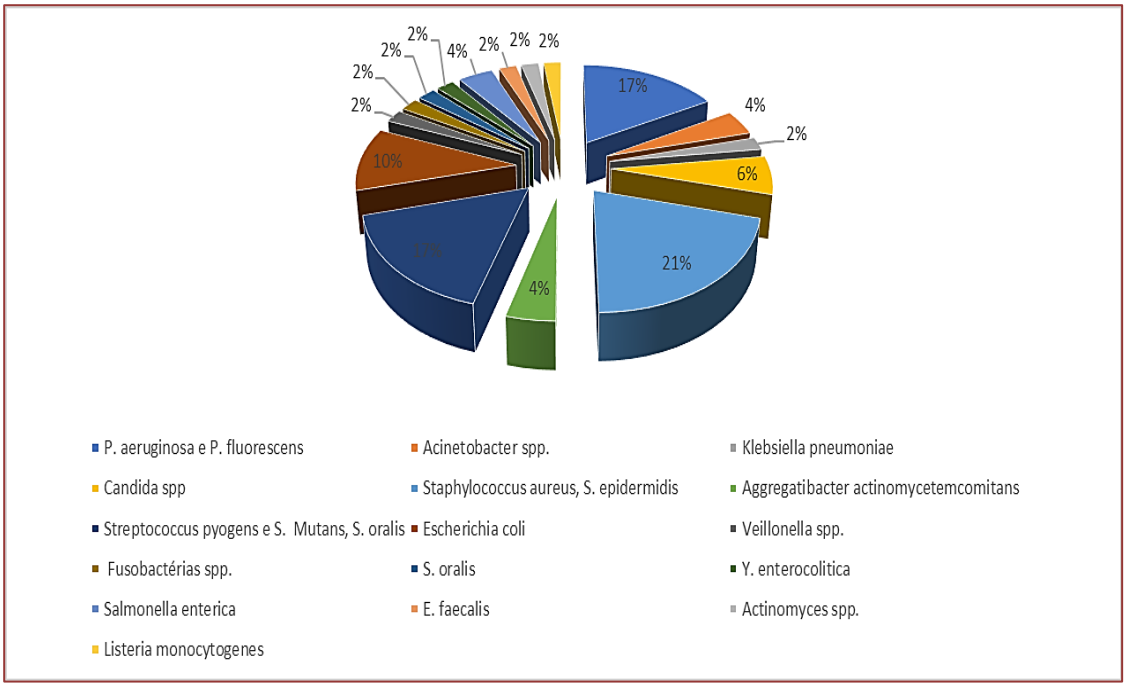
Os métodos utilizados para quantificação de biofilmes estão relacionados com cada pesquisador por linhas de pesquisa, recursos disponíveis e metodologia consolidada no meio científico, havendo uma predominância dos métodos que apresentam maior facilidade de aplicação, com uso de menos recursos ou equipamentos sofisticados (A). Em contraste esses métodos tendem a apresentar uma variação maior em seus resultados, já o segundo método mais aplicado (C) apresenta menor variação em seus resultados, porém exige equipamentos mais sofisticados e que não estão disponíveis para muitos pesquisadores.

Vale destacar ainda que várias metodologias foram desenvolvidas, ou adaptadas para estudos de biofilmes multiespécies, que podem com adoção por pesquisadores e seu uso por meio de laboratórios e indústrias, haja visto a sua disponibilidade, fornecer dados que contribuirão para uma compreensão mais profunda da estrutura e composição dos biofilmes.

Observou-se também um número mais significante de pesquisas nas áreas médicas e hospitalares (20 artigos), e uma quantidade menor de artigos sobre a indústria de alimentos e os riscos causados por formação de biofilmes (07 artigos).

A figura 2, apresenta os resultados por microrganismos pesquisados, a seleção deste grupo de microrganismos está relacionada com sua capacidade de formação de biofilmes e as consequências patogênicas para a saúde humana seja na formação de biofilmes em cateteres, ou outros instrumentos cirúrgicos e riscos para empresas produtoras de alimentos, notadamente também relacionado a saúde humana, , em função da presença desses biofilmes em superfícies de contato com alimentos ou em equipamentos industriais.

Figura 2: Microrganismos formadores de biofilmes presentes nas pesquisas de quantificação de biofilmes por diversas metodologias.



Fonte: Próprio autor, 2024.

4. CONCLUSÃO

A formação de biofilmes microbianos é um tema de grande relevância em diversas áreas da microbiologia, com destaque para a saúde pública e a indústria alimentícia. A quantificação e a avaliação da formação de biofilmes são essenciais para a compreensão dos mecanismos de adesão, crescimento e disseminação desses microrganismos, bem como para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle e erradicação.

Há a necessidade de mais pesquisas sobre padrões e medidas de biofilmes haja visto a grande variedade de informações sobre o tema nos artigos, devendo servir de referencial para a sociedade e comunidade científica com os padrões de diversos microrganismos bem como seus risco para a sociedade.

Por fim, a pesquisa evidenciou o método colorimétrico de detecção e quantificação do biofilme por espectrofotometria, como o de maior aplicação no meio acadêmico e está presente na maioria dos artigos, possivelmente pela sua facilidade e recursos disponíveis.

REFERÊNCIAS

[1] BAKHT, M. ALIZADEH, AS. RAHIMI, S. et al. Fenótipo e determinação genética da resistência a desinfetantes comuns entre cepas de Pseudomonas aeruginosa produtoras e não produtoras de biofilme de amostras clínicas no Irã. **BMC *Microbiol* 22**, 124 (2022).

[2] BATISTA, I. R. PRATES, A. C. L. SANTOS, B. et al. Determinação da suscetibilidade antimicrobiana e produção de biofilme em Staphylococcus aureus isolados de jalecos brancos de estudantes universitários da área da saúde. **Ann Clin Microbiol Antimicrobiano** 18, 37 (2019).

[3] BOYD, J. D. KOROTKOVA, N. GRADY, M. E. Adesão de biofilmes em titânio medida por espalação induzida por laser. **Exp Mech** 59, 1275–1284 (2019).

[4] CHRISTABEL, P. F. et al. "Exploration of Chlorella sp. as antibacterial to Aggregatibacter actinomycetemcomitans biofilm." **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Vol. 217. No. 1. IOP Publishing, 2018.

[5] CIEPLIK, F. KARA E. MUEHLER D. et al. "Antimicrobial Efficacy of Alternative Compounds for Use in Oral Care toward Biofilms from Caries-associated Bacteria in Vitro." **MicrobiologyOpen (Weinheim*)*** 8.4 (2019): E00695-N/a. Web.

[6] CORTE, L. CASAGRANDE P. D. TASCINI, C. ROSCINI, L. CARDINALI, G. Atividade Específica do Biofilme: Uma Medida para Quantificar o Biofilme Microbiano. **Microrganismos** 2019, *7*, 73. DUDEK B. TYMIŃSKA J. SZYMCZYK-ZIÓŁKOWSKA P. CHODACZEK G. MIGDAŁ P. CZAJKOWSKA J. JUNKA A. Atividade in vitro de pastilhas contendo dicloridrato de octenidina contra patógenos formadores de biofilme da cavidade oral e garganta. **Ciências Aplicadas.** 2023; 13(5):2974. EYDOU, Z. J. B. N. ELSAYED, Z. et al. Investigação sobre o efeito da vitamina C no crescimento e potencial de formação de biofilme de Streptococcus mutans isolados de pacientes com cárie dentária. **BMC Microbiol** 20, 231 (2020).

[7] GABE, V. KACERGIUS T. ABU-LAFI, S. ZEIDAN, M. ABU-FARICH, B. AUSTYS, D. MASALHA, M. RAYAN, A. Efeitos supressivos do galato de octila na formação de biofilme de Streptococcus mutans, acidogenicidade e expressão gênica. **Moléculas** 2019, 24, 3170.

[8] GAIRE, U. THAPA SHRESTHA, U. ADHIKARI, S. ADHIKARI, N. BASTOLA, A. RIJAL, K. R. GHIMIRE, P. BANJARA, M. R. Suscetibilidade a antibióticos, produção de biofilme e detecção do gene mec A entre isolados de Staphylococcus aureus de diferentes amostras clínicas. **Doenças** 2021, 9, 80.

[9] GAWISH S, ABBASS A. ABAZA A. Occurrence and biofilm-forming ability of Pseudomonas aeruginosa in the water output of dental unit waterlines in a dental center in Alexandria**, Egypt. Germs.** 2019 Jun 3;9(2):71-80. doi: 10.18683/germs.2019.1160. PMID: 31341834; PMCID: PMC6591527.

[10] GOSWAMI, A. G. BASU, S. BANERJEE, T. et al. Biofilme e cicatrização de feridas: da bancada à beira do leito. **Eur J Med Res** 28, 157 (2023).

[11] GUŁA, G. SZYMANOWSKA, P. PIASECKI, T. GÓRAS, S. GOTSZALK, T. DRULIS-KAWA, Z. A aplicação de espectroscopia de impedância para monitoramento de biofilme de Pseudomonas durante infecção por fagos. **Vírus 2020** , 12 , 407.

[12] HOU, J. WANG, C. ROZENBAUM, R. T. *et al.* Densidade bacteriana e estrutura do biofilme determinada por tomografia de coerência óptica. ***Sci Rep*** 9, 9794 (2019).

[13] IRANKHAH, S. ABDI ALI, A. REZA SOUDI, M. *et al.* Degradação de fenol altamente eficiente em um reator de biofilme de leito móvel em lote: beneficiando-se de bactérias que melhoram o biofilme. ***World J Microbiol Biotechnol*** 34, 164 (2018).

[14] IVANOVIC, V. POPOVIC, D. PETROVIC, S. RODOLFO, R. MAJERIC, P. LAZAREVIC, M. DJORDJEVIC, I. LAZIC, V. RADUNOVIC, M. Desvendando a atividade antibiofilme de uma nova resina Nanogold para dentaduras e epíteses. **Farmacêutica 2022, 14, 1513**.

[15] KALEVA, M. D. ILIEVA, Y. ZAHARIEVA, M. M. DIMITROVA, L. KIM, T. C. TSVETKOVA, I. GEORGIEV, Y. OROZOVA, P. NEDEV, K. NAJDENSKI, H. Resistência Antimicrobiana e Formação de Biofilme de Escherichia coli Isolada de Fazendas de Suínos e Arredores na Bulgária. **Microrganismos 2023 , 11 , 1909**. KHOSRAVI, Y. KANDUKURI, R. D. PALMER, S.R. et al. Uso de um optodo planar de oxigênio para avaliar o efeito de microsprays de alta velocidade na penetração de oxigênio em biofilmes dentais humanos in vitro. **BMC Saúde Oral** 20, 230 (2020).

[16] LIU, J. ZHU, W. QIN, N. REN, X. XIA, X. Propionato e Butirato Inibem a Formação de Biofilme de Salmonella Typhimurium Cultivada em Meios de Laboratório e Modelos Alimentares. **Alimentos** 2022 , 11 , 3493.

[17] MADANI, A. ESFANDIARI, Z. SHOAEI, P. ATAEI, B. Avaliação de Fatores de Virulência, Resistência a Antibióticos e Formação de Biofilme de Escherichia coli Isolada de Leite e Produtos Lácteos em Isfahan, Irã. **Alimentos** 2022 , 11 , 960

[18] MÃE, G. DING, Y. WU, Q. ZHANG, J. LIU, M. WANG, Z. WANG, Z. WU, S. YANG, X. L. I. Y. e outros. Vesículas derivadas da membrana externa de Yersinia enterocolitica inibem o estágio inicial de formação de biofilme. **Microrganismos** 2022, 10, 2357.

[19] MOHER D. LIBERATI A. TETZLAFF J. ALTMAN D. G. The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: **The PRISMA Statement**.

[20] OLIVARES, E. TASSE, J. BADEL-BERCHOUX, S. PROVOT, C. PRÉVOST, G. BERNARDI, T. Clinical Biofilm Ring Test ® revela o papel potencial dos β-lactâmicos na indução da formação de biofilme por *P. aeruginosa* em pacientes com fibrose cística. ***Patógenos*****.** 2020; 9(12):1065.

[21] OLIVEIRA-CARDOSO, Érika Arantes de et al. Revisão sistemática da literatura: guia didático e diretrizes para a condução das etapas metodológicas**.** Pesquisa em Psicologia e Humanidades: métodos e contextos contemporâneos. Tradução. **Petrópolis: Vozes**, 2022.

[22] PATANGE, A. BOEHM, D. ZIUZINA, D. CULLEN, P. J. GILMORE, B. BOURKE, P. High voltage atmospheric cold air plasma control of bacterial biofilms on fresh produce. **Int J Food Microbiol**. 2019 Mar 16; 293:137-145. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.01.005. Epub 2019 Jan 12. PMID: 30711711

[23] PÉREZ-GRANDA, M. J. ALONSO, B. ZAVALA, R. et al. Solução de descontaminação digestiva seletiva usada como "terapia de bloqueio" previne e erradica o biofilme bacteriano em um modelo de bancada in vitro. **Ann Clin Microbiol Antimicrobiano** 19, 44 (2020).

[24] PAHO; WHO. PANAFTOSA **alerta que doenças transmitidas por alimentos podem ser evitadas com ações preventivas do campo à mesa**. 2022.

[25] RAVEENDRA, N. RATHNAKARA, S. H. HASWANI, N. et al. Biofilmes bacterianos em tubos de traqueostomia. **Indian J Otolaryngol Head Neck Surg** 74 (Suppl 3), 4995–4999 (2022).

[26] SENOBAR S. A. STÁJER. A, BARRAK, I. OSTORHÁZI, E. SZABÓ, D. GAJDÁCS, M. Correlação entre a formação de biofilme e o fenótipo resistente a antibióticos em isolados de Staphylococcus aureus: um estudo baseado em laboratório na Hungria e uma revisão da literatura. **Infectar resistência a drogas**. 2021; 14:1155-1168.

[27] SILVA, J. O. I. A. CUNHA, B. P. da. A pandemia aponta para a necessidade de um pacto sanitário global: o nexo água-energia-alimentação-saúde. **In: DERANI**, Cristiane; MOURA, Aline Beltrame de; NOSCHANG, Patrícia Grazziotin (Organizadoras). A regulamentação europeia sobre a água, energia e

alimento para a sustentabilidade ambiental. Florianópolis: Emais, 2021. p.82-104. ISBN: 978-65-86439-28-1.

[28] SHAO, X. et al. **The probiotic, Leuconostoc mesenteroides, inhibits Listeria monocytogenes biofilm formation—**Journal *of Food Safety*, v. 40, n. 2, p. e12750, 2020.

[29] S. STEPANOVIĆ *et al.* **Biofilm formation by Salmonella spp. and Listeria monocytogenes on plastic surface**. 1 maio 2004.

[30] TORTORA, G. J.et al. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

[31] WENG, PL. RAMLI, R. HAMAT, R. A. Padrões de suscetibilidade a antibióticos, formação de biofilme e gene esp entre enterococos clínicos: existe alguma associação? **Internacional J. Meio Ambiente. Res. Saúde Pública** 2019, 16, 3439.

CAPÍTULO

05

Identificação de cepas de *Listeria monocytogenes* formadoras de biofilmes isoladas em alimentos prontos para consumo no Tocantins

Antonio José de Sousa Caminha, Nayane Teixeira Pereira, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos, Patrícia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

As Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA) são definidas e reconhecidas na literatura científica como as síndromes causadas por cerca de 250 microrganismos que são contaminantes de alimentos e água, são consideradas pelos órgãos de saúde global, como um risco real a saúde da população e estão especialmente presentes em países em desenvolvimento, sendo responsável por uma perda considerável de vidas e prejuízos econômicos a sociedade em geral. Não obstante também, agravos de saúde por meio destas doenças podem desencadear pandemias globais (Silva et al, 2021).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 600 (seiscentos) milhões de pessoas contraem doenças transmitidas por alimentos e água (DTHA) contaminados por ano, o que representa para a instituição que 1 (um) em cada 10 (dez) habitantes do planeta sofreram algum tipo de transtorno de saúde por meio de DTHA. Desses doentes, cerca de 420 mil morrem em função da doença (PAHO/OMS, 2022).

As bactérias representam o maior grupo de microrganismos responsável por veicular doenças e causar transtornos de saúde, por meio dos alimentos. Os fatores que colaboram para isso são: a falta de higiene na obtenção da matéria prima, no processamento, envase, armazenamento e na distribuição, bem como as precárias condições de conservação destes alimentos, favorecendo a disseminação dos contaminantes.

As milhares de espécies de bactérias são diferenciadas por muitos fatores, incluindo a morfologia (forma), composição química, as necessidades nutricionais, atividades bioquímicas e fontes de energia. Nesse sentido, estima-se que 99% das bactérias existentes na natureza, encontrem-se na forma de biofilmes (TORTORA, 2017). Um glicocálice que auxilia as células em um biofilme a se fixarem ao seu ambiente-alvo e umas às outras é denominado substância polimérica extracelular (SPE). A SPE protege as células dentro do glicocálice, facilita a comunicação entre as células e permite a sobrevivência celular pela fixação a várias superfícies em seu ambiente natural (TORTORA, 2017; SHAO et al 2019).

Dada a importância do microrganismo para a saúde pública, bem como a necessidade de obtenção de informações sobre a segurança dos alimentos produzidos no Brasil, a detecção de patógenos formadores de biofilmes, torna-se elemento importante para traçar estratégias de prevenção e eliminação destes riscos.

A *Listeria monocytogenes*, causadora da listeriose, é uma bactéria Gram-positiva, anaeróbia facultativa, não formadora de esporos, catalase positiva, em forma de bacilo, e é um agente patogênico psicrotrófico (MAZAHERI et al., 2021). *Listeria* sp. sobrevive e se multiplica em condições ambientais adversas, como baixas temperaturas e ambientes

ricos em sal. Isso facilita sua disseminação em alimentos refrigerados, tornando-a uma ameaça em produtos industrializados e aumentando o risco de surtos de listeriose (LECUIT, 2020). Embora a temperatura ideal de crescimento da *Listeria* sp. esteja entre 30 e 37 ºC, sua capacidade de se adaptar ao estresse causado pelo frio facilita sua disseminação, tornando ineficaz o uso de baixas temperaturas e refrigeração para seu controle (JIBO et al., 2022). A bactéria é capaz de se multiplicar em temperaturas tão baixas quanto 2 a 4 ºC, o que representa uma grande preocupação, pois, uma vez presentes na linha de processamento, é difícil eliminá-las devido à sua proliferação e possível formação de biofilmes (CARVALHO, 2021).

Esse patógeno forma biofilmes complexos de interações sozinhos ou com outros microrganismos que ajuda a enfrentar desafios como estresse oxidativo e ação de sais biliares, através de competição, mutualismo e simbiose. Juntos, eles preenchem as necessidades metabólicas da rede, estabelecendo interações que permitem subjugar outros microrganismos ou superar diversos obstáculos. (OLIVEIRA, 2022).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo a metodologia de Stepanović et al. (2004), foram pipetados 230 µl de caldo BHI, transferidos para placa estéril de micro titulação transparente de policloreto de vinil (PVC) de 96 poços. Em seguida, 20 µl de cada cultura de *L. monocytogenes* isolada foram pipetados e transferidos para a placa com o meio BHI em triplicata. Uma fileira de 12 poços foi preenchida apenas com meio BHI, para servir de controle negativo. As placas com o material pipetado foram incubadas por 24 h na temperatura de 35º C ± 2° C para formação dos biofilmes em aerobiose.

Na sequência, o conteúdo da placa foi então despejado e os poços lavados três vezes com 300 μL de água destilada estéril. As bactérias restantes aderidas foram fixadas com 250 μL de metanol por poço, por 15 min, em seguida, as microplacas foram esvaziadas e deixadas para secar em condições ambientais. Após a secagem, os poços foram corados com 250 μL de cristal violeta, usado para coloração de Gram (conjunto de coloração de Gram para microscopia; Merck) por 5 min. O excesso de corante foi retirado colocando a microplaca em água corrente da torneira. Após as microplacas serem secas ao ar, o corante ligado às células aderentes foi ressolubilizado com 250 μL de ácido acético glacial a 33% (v/v) por poço. A densidade óptica (DO) de cada poço foi medida a 570 nm usando um leitor Multiskan EX automatizado (Biochrom ASYS UVM 340).

Tomando como parâmetro a capacidade e intensidade de formação de biofilme dos isolados, estes foram divididos em quatro categorias: isolado não formador de biofilme (NF), quando a densidade óptica do isolado (DOi) foi menor ou igual à densidade óptica da média dos poços controle negativo DOn (DOi ≤ DOn); fracamente formador de biofilme se DOn < DOi ≤ 2xDOn; formador de biofilme moderado se 2xDOn < DOi ≤ 4xDOn ou forte formador de biofilme se 4xDOn < DOi (MASEBE e THANTSHA, 2022).

Vinte e três isolados de *L. monocytogenes* obtidos de amostras de produtos cárneos prontos para consumo adquiridas no comércio no estado do Tocantins, foram avaliados quanto a sua capacidade de formar biofilme em superfície de PVC. Os resultados da avaliação da formação de biofilme em superfícies plásticas por *Listeria monocytogenes,* é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Capacidade de formação de biofilmes por isolados de *L. monocytogenes* em placas de policloreto de vinil (PVC).

Região	Resultados				
	Total de amostras	**Don < 0,207**	**Don > 0,207**	**> 2x Don**	**> 4x Don**
Norte	13	05	02	03	03
Central	04	04	-	-	-
Sul	06	06	-	-	-
Total	**23**				

Fonte: Autor, 2024.

A densidade optica (DO) média dos poços inoculados foi de 0,449. Os poços controle negativo (Don) tiveram DO média de 0,207. Os isolados que ficaram à baixo ou igual a DOn, foram consideradas não formadoras de biofilmes. Foram considerados fracos formadores de biofilmes, os isolados com DO > 0,207 porém ≤ DO 0,414. Foram considerados médios produtores de biofilmes, os isolados que apresentaram DO > 0,414 e < DO 0,828. Os isolados com DO ≥ 0,828 foram consideradas fortes formadoras de biofilmes.

A partir destes resultados, podemos confirmar a capacidade de diversos isolados de *L. monocytogenes* formar biofilmes em superfícies inertes como o PVC. Esse patógeno tem sua capacidade de produção de biofilmes em superfícies de metal e vidro ainda maior por serem hidrofílicos, diferentemente das superfícies plásticas que apresenta maior hidrofobicidade (STEPANOVIC et al., 2004). Os resultados também indicam o potencial destes isolados em formar biofilmes nos ambientes de manipulação de produtos RTE fatiados (TELES et al., 2022).

A formação do biofilme por bactérias é complexo e depende de uma interação entre as células bacterianas, a superfície de fixação e as condições ambientais. Em estudo feitos por Chen et al. (2019) a matriz do biofilme formado por *L. monocytogenes* com um isolado de espécie única mostrou-se mais firme e densa em comparação à matriz gerada na associação mista com *Vibrio parahaemolyticus*, Outros trabalhos de Alonso, 2015 e Pang; Yuk, 2019, demonstraram que apesar de muitas vezes a *L.monocytogenes* apresentar baixo crescimento em biofilmes, na presença de outras espécies ela tem grande facilidade em sobreviver. Um estudo comprovou que população de *L. monocytogenes* podem persistir em instalações de processamento de carne durante pelo menos 4 anos (STOLLER et al., 2019). Portanto essa permanência pode ser um risco para a contaminação dos produtos e a saúde do consumidor.

Outro estudo descrito por Alonso & Kabuki (2019) onde foi avaliado biofilme em meio de cultura BHI, isoladas de laticínios e fábricas de laticínios, demonstraram que os biofilmes de espécies únicas se formaram após 24 horas de incubação para *L. monocytogenes* (5,39 log10 UFC/cm^2), em estudos realizados por Caurio (2021) isolados de *Listeria* sp. obtidos demonstraram persistência, com habilidade para aderir e formar biofilmes em superfícies comuns na indústria alimentícia, como aço inoxidável e polipropileno. Além disso, exibiram resistência a alguns antimicrobianos, o que pode representar um perigo na indústria.

Neste trabalho observamos que nas cepas isoladas nas amostras obtidas no comercio de três regiões do estado do Tocantins, apresentaram comportamento diferente entre as regiões pesquisadas, posto que nos isolados das amostras da região Norte, acima

de 60% dos isolados de *L. monocytogenes* apresentaram capacidade de formar biofilmes nas três categorias analisadas, enquanto os isolados das demais regiões pesquisadas não apresentaram capacidade de formação de biofilmes.

Os biofilmes conferem proteção, adaptabilidade e resistência aos processos tecnológicos, sendo fontes de contaminação entre ambientes e produtos. Nesta pesquisa, podemos inferir que o patógeno está presente em biofilmes nos mercados, padarias, açougues e comercio varejista pesquisados onde as amostras de produtos cárneos foi adquirida. Portanto, entende-se que há riscos para a saúde dos consumidores, especialmente se não houver emprego eficaz de métodos que garantam a eliminação do patógeno.

No trabalho de Masebe e Thantsha, (2022), com amostras de *L. monocytogenes* isoladas de abacate e pepino, pesquisando a formação de biofilmes, os autores observaram formação de biofilmes em todas as amostras analisadas, porém com variação em sua classificação, os autores também citam que essa formação está relacionada principalmente com o sorotipo da cepa envolvida.

Ciccio et al. (2022) em sua pesquisa com *L. monocytogenes* utilizando 57 isolados, observaram que particularmente 58%, 38,5% e 3,5% das cepas analisadas foram produtores de biofilmes fracos, moderados e fortes, respectivamente. Os resultados contrastam com o presente estudo, no qual obteve-se no total geral 34,75% dos isolados apresentando capacidade de formação de biofilmes. Deste total, apresentaram-se com potencial de intensidade fraca (25%), moderada (37,5%) e forte (37,5%) para formação de biofilmes em superficies inertes. Esses resultados indicam que a cepa presente nas diversas regiões estão relacionadas com essa diferença de resultados.

Diante desses resultados, podemos inferir que há presença de biofilmes nos equipamentos utilizados no comércio para manipulação de presunto, apresuntado e salsicha, e que esta capacidade do patógeno interfere significativamente nos níveis de contaminação encontrados no estado, que esta capacidade está ligada a cepa circulante e que o comércio não está preparado para lidar com este tipo de ameaça ao consumidor.

3. CONCLUSÃO

A formação de biofilmes microbianos é um tema de grande relevância em diversas áreas da microbiologia, com destaque para a saúde pública e a indústria alimentícia. A quantificação e a avaliação da formação de biofilmes são essenciais para a compreensão dos mecanismos de adesão, crescimento e disseminação desses microrganismos, bem como para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle e erradicação.

Há capacidade dos isolados de formar biofilmes em superfícies inertes como PVC, o que significa que esses microrganismos podem aderir e se multiplicar em áreas de difícil limpeza. Isso aumenta o risco de contaminação cruzada nos ambientes de processamento de alimentos, potencializando a transmissão de patógenos para os produtos e, consequentemente, colocando em risco a saúde dos consumidores

Além disso, verificou-se que a capacidade do patógeno de produzir biofilmes apresenta relação com à cepa circulante. Nas amostras isoladas da região Norte, foram encontradas as cepas com maior capacidade de formação de biofilmes, o que interfere diretamente na capacidade de sobrevivência e multiplicação do patógeno.

REFERÊNCIAS

[1] BAKHT, M. ALIZADEH, AS. RAHIMI, S. et al. Fenótipo e determinação genética da resistência a desinfetantes comuns entre cepas de Pseudomonas aeruginosa produtoras e não produtoras de biofilme de amostras clínicas no Irã. **BMC *Microbiol* 22**, 124 (2022).

[2] BATISTA, I. R. PRATES, A. C. L. SANTOS, B. et al. Determinação da suscetibilidade antimicrobiana e produção de biofilme em Staphylococcus aureus isolados de jalecos brancos de estudantes universitários da área da saúde. **Ann Clin Microbiol Antimicrobiano** 18, 37 (2019).

[3] BOYD, J. D. KOROTKOVA, N. GRADY, M. E. Adesão de biofilmes em titânio medida por espalação induzida por laser. **Exp Mech** 59, 1275–1284 (2019).

[4] CHRISTABEL, P. F. et al. "Exploration of Chlorella sp. as antibacterial to Aggregatibacter actinomycetemcomitans biofilm." **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Vol. 217. No. 1. IOP Publishing, 2018.

[5] CIEPLIK, F. KARA E. MUEHLER D. et al. "Antimicrobial Efficacy of Alternative Compounds for Use in Oral Care toward Biofilms from Caries-associated Bacteria in Vitro." **MicrobiologyOpen (Weinheim*)*** 8.4 (2019): E00695-N/a. Web.

[6] CORTE, L. CASAGRANDE P. D. TASCINI, C. ROSCINI, L. CARDINALI, G. Atividade Específica do Biofilme: Uma Medida para Quantificar o Biofilme Microbiano. **Microrganismos** 2019, *7*, 73.

[7] DUDEK B. TYMIŃSKA J. SZYMCZYK-ZIÓŁKOWSKA P. CHODACZEK G. MIGDAŁ P. CZAJKOWSKA J. JUNKA A. Atividade in vitro de pastilhas contendo dicloridrato de octenidina contra patógenos formadores de biofilme da cavidade oral e garganta. **Ciências Aplicadas.** 2023; 13(5):2974.

[8] EYDOU, Z. J. B. N. ELSAYED, Z. et al. Investigação sobre o efeito da vitamina C no crescimento e potencial de formação de biofilme de Streptococcus mutans isolados de pacientes com cárie dentária. **BMC Microbiol** 20, 231 (2020).

[9] GABE, V. KACERGIUS T. ABU-LAFI, S. ZEIDAN, M. ABU-FARICH, B. AUSTYS, D. MASALHA, M. RAYAN, A. Efeitos supressivos do galato de octila na formação de biofilme de Streptococcus mutans, acidogenicidade e expressão gênica. **Moléculas** 2019, 24, 3170.

[10] GAIRE, U. THAPA SHRESTHA, U. ADHIKARI, S. ADHIKARI, N. BASTOLA, A. RIJAL, K. R. GHIMIRE, P. BANJARA, M. R. Suscetibilidade a antibióticos, produção de biofilme e detecção do gene mec A entre isolados de Staphylococcus aureus de diferentes amostras clínicas. **Doenças** 2021, 9, 80.

[11] GAWISH S, ABBASS A. ABAZA A. Occurrence and biofilm-forming ability of Pseudomonas aeruginosa in the water output of dental unit waterlines in a dental center in Alexandria**, Egypt. Germs.** 2019 Jun 3;9(2):71-80.

[12] GOSWAMI, A. G. BASU, S. BANERJEE, T. et al. Biofilme e cicatrização de feridas: da bancada à beira do leito. **Eur J Med Res** 28, 157 (2023).

[13] GUŁA, G. SZYMANOWSKA, P. PIASECKI, T. GÓRAS, S. GOTSZALK, T. DRULIS-KAWA, Z. A aplicação de espectroscopia de impedância para monitoramento de biofilme de Pseudomonas durante infecção por fagos. **Vírus 2020** , 12 , 407.

[14] HOU, J. WANG, C. ROZENBAUM, R. T. *et al.* Densidade bacteriana e estrutura do biofilme determinada por tomografia de coerência óptica. ***Sci Rep*** 9, 9794 (2019).

[15] IRANKHAH, S. ABDI ALI, A. REZA SOUDI, M. *et al.* Degradação de fenol altamente eficiente em um reator de biofilme de leito móvel em lote: beneficiando-se de bactérias que melhoram o biofilme. ***World J Microbiol Biotechnol*** 34, 164 (2018).

[16] IVANOVIC, V. POPOVIC, D. PETROVIC, S. RODOLFO, R. MAJERIC, P. LAZAREVIC, M. DJORDJEVIC, I. LAZIC, V. RADUNOVIC, M. Desvendando a atividade antibiofilme de uma nova resina Nanogold para dentaduras e epíteses. **Farmacêutica 2022, 14, 1513**.

[17] KALEVA, M. D. ILIEVA, Y. ZAHARIEVA, M. M. DIMITROVA, L. KIM, T. C. TSVETKOVA, I. GEORGIEV, Y. OROZOVA, P. NEDEV, K. NAJDENSKI, H. Resistência Antimicrobiana e Formação de Biofilme de Escherichia coli Isolada de Fazendas de Suínos e Arredores na Bulgária. **Microrganismos 2023 , 11 , 1909**.

[18] KHOSRAVI, Y. KANDUKURI, R. D. PALMER, S.R. et al. Uso de um optodo planar de oxigênio para avaliar o efeito de microsprays de alta velocidade na penetração de oxigênio em biofilmes dentais humanos in vitro. **BMC Saúde Oral** 20, 230 (2020).

[19] LIU, J. ZHU, W. QIN, N. REN, X. XIA, X. Propionato e Butirato Inibem a Formação de Biofilme de Salmonella Typhimurium Cultivada em Meios de Laboratório e Modelos Alimentares. **Alimentos** 2022 , 11 , 3493. https://doi.org/10.3390/foods11213493

[20] MADANI, A. ESFANDIARI, Z. SHOAEI, P. ATAEI, B. Avaliação de Fatores de Virulência, Resistência a Antibióticos e Formação de Biofilme de Escherichia coli Isolada de Leite e Produtos Lácteos em Isfahan, Irã. **Alimentos** 2022 , 11 , 960.

[21] MÃE, G. DING, Y. WU, Q. ZHANG, J. LIU, M. WANG, Z. WANG, Z. WU, S. YANG, X. L. I. Y. e outros. Vesículas derivadas da membrana externa de Yersinia enterocolitica inibem o estágio inicial de formação de biofilme. **Microrganismos** 2022, 10, 2357.

[22] MOHER D. LIBERATI A. TETZLAFF J. ALTMAN D. G. The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: **The PRISMA Statement**.

[23] OLIVARES, E. TASSE, J. BADEL-BERCHOUX, S. PROVOT, C. PRÉVOST, G. BERNARDI, T. Clinical Biofilm Ring Test ® revela o papel potencial dos β-lactâmicos na indução da formação de biofilme por *P. aeruginosa* em pacientes com fibrose cística. ***Patógenos*.** 2020; 9(12):1065.

[24] OLIVEIRA-CARDOSO, Érika Arantes de et al. Revisão sistemática da literatura: guia didático e diretrizes para a condução das etapas metodológicas**.** Pesquisa em Psicologia e Humanidades: métodos e contextos contemporâneos. Tradução. **Petrópolis: Vozes**, 2022.

[25] PATANGE, A. BOEHM, D. ZIUZINA, D. CULLEN, P. J. GILMORE, B. BOURKE, P. High voltage atmospheric cold air plasma control of bacterial biofilms on fresh produce. **Int J Food Microbiol**. 2019. Mar 16; 293:137-145.

[26] PÉREZ-GRANDA, M. J. ALONSO, B. ZAVALA, R. et al. Solução de descontaminação digestiva seletiva usada como "terapia de bloqueio" previne e erradica o biofilme bacteriano em um modelo de bancada in vitro. **Ann Clin Microbiol Antimicrobiano** 19, 44 (2020).

[27] PAHO; WHO. PANAFTOSA **alerta que doenças transmitidas por alimentos podem ser evitadas com ações preventivas do campo à mesa**. 2022.

[28] RAVEENDRA, N. RATHNAKARA, S. H. HASWANI, N. et al. Biofilmes bacterianos em tubos de traqueostomia. **Indian J Otolaryngol Head Neck Surg** 74 (Suppl 3), 4995–4999 (2022).

[29] SENOBAR S. A. STÁJER. A, BARRAK, I. OSTORHÁZI, E. SZABÓ, D. GAJDÁCS, M. Correlação entre a formação de biofilme e o fenótipo resistente a antibióticos em isolados de Staphylococcus aureus: um estudo baseado em laboratório na Hungria e uma revisão da literatura. **Infectar resistência a drogas**. 2021; 14:1155-1168.

[30] SILVA, J. O. I. A. CUNHA, B. P. da. A pandemia aponta para a necessidade de um pacto sanitário global: o nexo água-energia-alimentação-saúde. **In: DERANI**, Cristiane; MOURA, Aline Beltrame de; NOSCHANG, Patrícia Grazziotin (Organizadoras). A regulamentação europeia sobre a água, energia e alimento para a sustentabilidade ambiental. Florianópolis: Emais, 2021. p.82-104. ISBN: 978-65-86439-28-1.

[31] SHAO, X. et al. **The probiotic, Leuconostoc mesenteroides, inhibits Listeria monocytogenes biofilm formation**—Journal *of Food Safety*, v. 40, n. 2, p. e12750, 2020.

[32] S. STEPANOVIĆ *et al.* **Biofilm formation by Salmonella spp. and Listeria monocytogenes on plastic surface**. 1 maio 2004.

[33] TORTORA, G. J.et al. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

[34] WENG, PL. RAMLI, R. HAMAT, R. A. Padrões de suscetibilidade a antibióticos, formação de biofilme e gene esp entre enterococos clínicos: existe alguma associação? **Internacional J. Meio Ambiente. Res. Saúde Pública** 2019, 16, 3439.

CAPÍTULO

06 Impactos da oxidação lipídica na preservação e segurança dos produtos alimentícios

Maria de Morais Lima, Lorena Limão Vieira dos Santos, Guilherme Borges Ferreira, Emerson Adriano Guarda, Patricia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

Os lipídios desempenham um papel fundamental na nutrição humana, fornecendo energia vital para os processos biológicos e servindo como fontes de nutrientes essenciais, como ácidos graxos e vitaminas lipossolúveis que o corpo não pode sintetizar. Na alimentação, eles desempenham um papel fundamental nas características sensoriais e funcionais, sendo responsáveis por intensificar sabores, modificar texturas (como cremosidade e crocância) e aprimorar a aparência dos alimentos, adicionando brilho e realçando cor (PURRINOS et al., 2011; WANG et al., 2023). Além disso, os lipídios contribuem para a saciedade e estabilizam emulsões, garantindo a retenção de compostos aromáticos, o que torna a percepção sensorial mais agradável (SILVA et al., 2023; SHAHIDI e HOSSAIN, 2022).

Os triacilgliceróis, conhecidos como gorduras e óleos, são os principais lipídios presentes nos alimentos e estão diretamente ligados à textura, sabor e odor, além de promoverem uma sensação de palatabilidade (KOUR, BHAT e LANGEH, 2023). Embora sejam essenciais para a qualidade dos alimentos, os lipídios apresentam instabilidade química, sendo suscetíveis à oxidação, um processo que afeta a qualidade dos produtos alimentícios (DOMÍNGUEZ et al., 2019; KLOOSTER, SCHROËN e BERTON-CARABIN, 2023).

Durante o armazenamento e processamento de alimentos, os lipídios podem sofrer reações de degradação, como a rancidez hidrolítica e oxidativa. Essas reações, resultantes de processos enzimáticos ou químicos, alteram as propriedades físicas, químicas e sensoriais dos alimentos, levando à degradação de componentes importantes e à formação de compostos desagradáveis (LIU et al., 2023; BOBBIO e BOBBIO, 2001). Esse processo provoca alterações indesejáveis, como perda de cor (branqueamento), destruição de vitaminas e desenvolvimento de sabores desagradáveis. Além disso, compromete a textura e a aparência do produto, afetando sua aceitação pelo consumidor (ASLAM e SCHROËN, 2023; KLOOSTER, SCHROËN e BERTON-CARABIN, 2023).

A oxidação também resulta na formação de compostos potencialmente tóxicos, como acroleína, malondialdeído e ácidos graxos trans, que podem causar danos à saúde humana, como doenças cardiovasculares, câncer, e problemas neurodegenerativos (LIU et al., 2023; JIANG et al., 2022). Esses compostos tóxicos são mais comumente formados em alimentos processados que passam por altas temperaturas, como durante frituras e assados. Estudos relatam que compostos como 4-hidroxi-trans-2-nonenal, presentes em batatas fritas e óleos comestíveis, estão associados ao desenvolvimento de doenças como aterosclerose e diabetes (LIAO, ZHU e CHEN, 2020). Assim, a presença desses compostos no cotidiano alimentar pode levar ao acúmulo de substâncias prejudiciais à saúde.

A oxidação lipídica é intensificada por fatores como luz, calor, oxigênio e íons metálicos como Fe^{2+} e Cu^{2+}, que aceleram a degradação dos lipídios e a formação de compostos que afetam negativamente a qualidade sensorial dos alimentos, conferindo sabores e odores indesejáveis (ARAÚJO, 2008; FANG et al., 2023). Além desses fatores, a própria estrutura química dos ácidos graxos insaturados torna-os vulneráveis a reações de oxidação. Lipídios com alto teor de ácidos graxos poliinsaturados, como os encontrados em óleos vegetais, são particularmente suscetíveis à formação de peróxidos e aldeídos.

Para minimizar os efeitos negativos da oxidação lipídica, várias estratégias têm sido adotadas pela indústria de alimentos. Entre elas, destacam-se o uso de antioxidantes naturais e sintéticos, como o BHA (hidroxianisol butilado), BHT (hidroxitolueno butilado), TBHQ (terc-butil hidroquinona), e PG (galato de propila) que atuam na prevenção da oxidação ao neutralizar radicais livres e estabilizar compostos reativos (SINGH, SINGH e GANDHI, 2018; WANG et al., 2023). Além disso, técnicas como embalagem a vácuo, encapsulamento e adição de agentes quelantes de metais têm se mostrado eficazes na redução da exposição dos lipídios ao oxigênio e outros agentes oxidantes.

A indústria de alimentos tem investido em tecnologias avançadas para detectar e monitorar a oxidação lipídica em seus produtos. Métodos como cromatografia, espectroscopia e técnicas de eletroforese permitem uma análise detalhada dos compostos formados durante a oxidação, possibilitando o controle mais eficaz dos processos e a adoção de medidas preventivas antes que os produtos atinjam o consumidor (JORGE, 2009). Esta pesquisa tem como objetivo descrever os mecanismos da oxidação lipídica, analisando as etapas e os fatores que influenciam esse processo, além de avaliar seus impactos na segurança alimentar, considerando a formação de compostos tóxicos, e na qualidade nutricional, com ênfase na perda de nutrientes essenciais. Serão, ainda, discutidos métodos de detecção e estratégias eficazes para o controle da oxidação.

2. OXIDAÇÃO LIPÍDICA

A oxidação lipídica, também conhecida como rancidez, é um processo de deterioração que afeta óleos e gorduras, resultando em características sensorialmente desagradáveis, como o desenvolvimento de sabores e odores indesejáveis. Existem dois tipos principais de rancidez: a rancidez hidrolítica e a rancidez oxidativa, cada uma com características e mecanismos distintos (WANG et al., 2018; ARAÚJO 2008).

3. RANCIDEZ HIDROLÍTICA

A rancidez hidrolítica é uma transformação que ocorre quando os lipídios, em especial os glicerídeos, sofrem hidrólise, resultando na liberação de ácidos graxos livres. Essa transformação pode ser catalisada tanto por enzimas, como as hidrolases, quanto por agentes químicos, como ácidos e bases (SHAHIDI e HOSSAIN 2022; JORGE 2009).

O processo é particularmente relevante em lipídios que contêm glicerídeos de ácidos graxos de baixo peso molecular, que possuem alta volatilidade e podem ser percebidos pelo olfato mesmo em pequenas quantidades quando liberados. Entre os ácidos graxos mais envolvidos nesse processo estão o ácido butírico, valérico, capróico e láurico, reconhecidos por sua contribuição negativa ao perfil sensorial dos alimentos. Assim, a quantidade de lipídios severamente impactados pela rancidez hidrolítica é

relativamente limitada, ocorrendo com maior frequência em gorduras provenientes de fontes como o leite e o coco. (BOBBIO e BOBBIO, 2001). A lipólise, responsável por esse tipo de rancificação, pode ser indesejável em alguns produtos, pois gera sabores e odores estranhos. Entretanto, uma lipólise controlada pode ser benéfica para a qualidade de alimentos como queijo e iogurte, onde contribui para o desenvolvimento de sabores e aromas característicos (ARAUJO, 2008).

Na rancificação hidrolítica, a ação das enzimas hidrolases podem ser atenuada através da inativação térmica, o que interrompe o processo enzimático. No entanto, a hidrólise de natureza química tende a ser intensificada com o aumento da temperatura, especialmente em condições de processamento de alimentos que envolvem aquecimento prolongado, como a fritura (LIU et al 2023). Embora a presença de água pura promova uma hidrólise lenta dos glicerídeos, a situação se agrava quando o lipídio é exposto ao processo de cocção por longos períodos. Nesse contexto, a água presente nos alimentos pode se misturar ao lipídio, transferindo seus componentes, como ácidos e bases, que são capazes de acelerar a hidrólise. Esse processo resulta na formação de características organolépticas indesejáveis, como odores desagradáveis, que são transferidos ao alimento (VITRAC, TRYSTRAM e RAOULT-WACK 2000; BOBBIO e BOBIO 2001). Outro efeito significativo da rancidez hidrolítica é o aumento do teor de ácidos graxos livres no lipídio (SUZUKI, 2016). Essa elevação não apenas compromete a qualidade sensorial do alimento, mas também provoca uma diminuição do ponto de fumaça do lipídio, o que pode aumentar o risco de inflamabilidade, especialmente em processos de fritura (RAMROUDI et al., 2022).

Para evitar os efeitos prejudiciais da rancificação hidrolítica, algumas estratégias podem ser implementadas. A eliminação da água no lipídio é uma medida eficaz para inibir o processo. Além disso, o uso de temperaturas baixas no armazenamento e processamento dos alimentos ajuda a retardar a hidrólise. Em situações onde o uso prolongado de lipídios é inevitável, como em frituras, é essencial evitar o uso prolongado do mesmo óleo, especialmente se o alimento processado for rico em água. Isso não apenas preserva a qualidade do produto final, mas também reduz os riscos associados à degradação dos lipídios e seus impactos organolépticos (ARAÚJO 2008; BOBBIO e BOBBIO 2001).

4. RANCIDEZ OXIDATIVA

A rancificação oxidativa é um processo que ocorre em lipídios contendo ácidos graxos insaturados, resultando em degradação, oxidação e polimerização desses compostos por meio de mecanismos de radicais livres (MARKOVIC, MILENKOVIC e FILIPOVIC, 2019). O principal fator desse processo é a autoxidação, na qual o oxigênio reage com as duplas ligações dos ácidos graxos insaturados, formando peróxidos e hidroperóxidos, compostos inicialmente inodoros. No entanto, à medida que esses compostos se decompõem por reações secundárias, surgem monômeros oxidados, polímeros e compostos voláteis, como aldeídos e álcoois, que conferem o característico odor rançoso aos alimentos. Além disso, a enzima lipoxigenase pode catalisar a oxidação de ácidos graxos poliinsaturados, também gerando peróxidos e radicais livres. Esses radicais livres, por sua vez, oxidam pigmentos como carotenoides e polifenóis, o que resulta na descoloração e deterioração sensorial dos alimentos (JORGE, 2009; BŁASZCZYK, AUGUSTYNIAK e SKOLIMOWSKI, 2013)

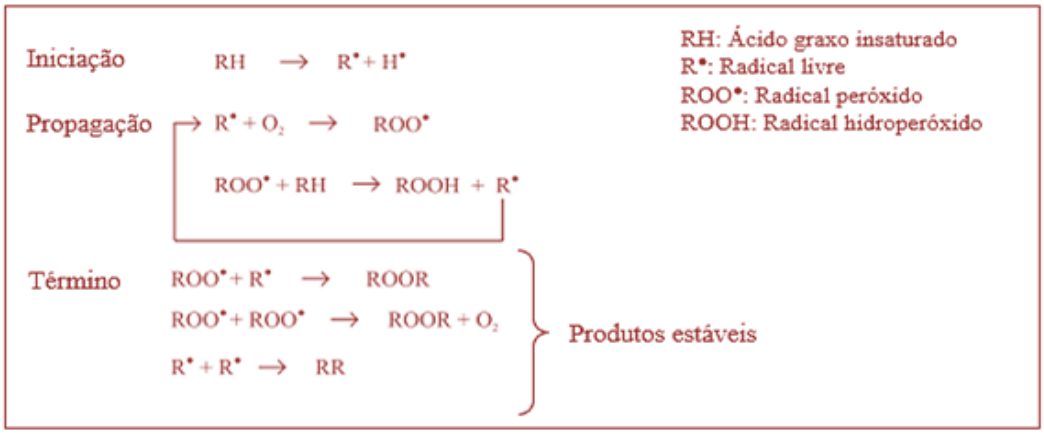
Esse tipo de rancificação é peculiar aos ácidos graxos insaturados devido à presença de duplas ligações em suas cadeias carbônicas, que facilitam a formação de radicais livres (SHAHIDI e ZHONG, 2015). Diferente dos ácidos graxos saturados, que não sofrem oxidação facilmente, os insaturados têm energia de ligação C-H reduzida na posição alílica, o que torna a ruptura dessas ligações favorável, necessitando aproximadamente 60 Kcal/mol. Em contraste, para os ácidos graxos saturados, essa ruptura é energeticamente desfavorável, exigindo cerca de 100 Kcal/mol e ocorrendo somente em condições extremas de temperatura, raramente encontradas na tecnologia de alimentos (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

A rancificação oxidativa segue um mecanismo de reação em cadeia envolvendo radicais livres, dividido em três fases principais, que podem ser claramente diferenciadas tanto pelos produtos formados quanto pelas características organolépticas de cada estágio (LI et al., 2016).

5. MECANISMO DE OXIDAÇÃO

O mecanismo da oxidação lipídica é um processo complexo e sequencial que ocorre em três etapas principais: iniciação, propagação e terminação. Essas etapas representam uma reação em cadeia que afeta profundamente a qualidade dos alimentos. A Figura 1 ilustra detalhadamente as reações envolvidas em cada fase da oxidação dos ácidos graxos insaturados.

Figura 1. Esquema geral do mecanismo da oxidação lipídica.



Fonte: Ramalho e Jorge (2006).

6. INICIAÇÃO

A etapa de iniciação começa quando um ácido graxo (RH) é convertido em um radical livre (R•) e um átomo de hidrogênio (H•). A iniciação da oxidação lipídica requer energia de ativação, que pode ser fornecida por luz visível, radiação UV, ou pela presença de metais como ferro e cobre. Esses catalisadores desencadeiam a formação dos primeiros radicais livres, que são necessários para o desenvolvimento da reação de oxidação (SHAHIDI e HOSSAIN, 2022; SHAHIDI e ABAD, 2019). Nesta fase, há um baixo consumo de oxigênio e uma concentração crescente de radicais livres, porém a

concentração de hidroperóxidos ainda é baixa e não há alterações perceptíveis nas propriedades organolépticas do alimento (SHAHIDI e ZHONG, 2010).

7. PROPAGAÇÃO

Durante a fase de propagação, o radical livre (R•) reage com o oxigênio (O_2), formando um radical peróxido (ROO•). Este radical peróxido então reage com outro ácido graxo (RH), resultando na formação de um hidroperóxido (ROOH) e gerando um novo radical livre (R•). Esse ciclo pode se repetir inúmeras vezes, ampliando a oxidação de ácidos graxos em uma reação em cadeia. Durante essa fase, há um aumento significativo na concentração de hidroperóxidos, que são inicialmente estáveis, mas, eventualmente, se decompõem em compostos voláteis, como aldeídos e cetonas, responsáveis pelo odor rançoso. A velocidade da propagação depende da disponibilidade de oxigênio e do grau de insaturação dos ácidos graxos. Se o suprimento de oxigênio for abundante, a oxidação pode continuar até que a maioria dos ácidos graxos insaturados seja consumido (SARAEV e PRATT 2024; SHAHIDI e ZHONG 2015). Nesta fase, começam a surgir alterações organolépticas, como o aparecimento de odores característicos que indicam a deterioração dos alimentos (SHAHIDI e OH 2020).

8. TERMINAÇÃO

A etapa de terminação ocorre quando os radicais peróxido (ROO•) reagem com radicais livres (R•) para formar produtos estáveis, como peróxidos orgânicos (ROOR). Além disso, dois radicais peróxido podem se combinar para formar peróxidos orgânicos e oxigênio (O_2), e dois radicais livres podem se combinar para formar um produto estável (RR), interrompendo assim a cadeia de reações (WANG et al., 2023). Nessa fase, há uma diminuição no consumo de oxigênio e na concentração de hidroperóxidos, enquanto ocorrem fortes alterações organolépticas, incluindo mudanças na cor e viscosidade dos alimentos (SHAHIDI e HOSSAIN, 2022).

Os produtos finais da oxidação lipídica incluem álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres e outros hidrocarbonetos, resultantes da decomposição dos hidroperóxidos. Estes compostos podem afetar significativamente a qualidade sensorial e nutricional dos alimentos, tornando o controle da oxidação lipídica uma parte essencial do gerenciamento da qualidade na indústria alimentícia (KUNYABOON et al., 2021; GHNIMI et al., 2017).

9. FATORES QUE INFLUENCIAM A OXIDAÇÃO LIPÍDICA

De acordo com os estudos de Wang et al. (2023), Jorge (2009) e Araújo (2008), a oxidação lipídica é influenciada por diversos fatores que podem acelerar ou retardar o processo. Entre os principais fatores identificados estão:

a) Composição dos Ácidos Graxos: A estrutura dos ácidos graxos, incluindo o número, a posição e a geometria das duplas ligações, é fundamental para a velocidade da oxidação. Ácidos graxos insaturados, particularmente na forma cis e com ligações conjugadas, oxidam mais rapidamente. Por exemplo, os ácidos graxos araquidônico, linolênico, linoleico e oleico apresentam taxas de oxidação em uma proporção aproximada de 40:20:10:1, respectivamente, com o ácido araquidônico sendo o mais suscetível à oxidação.

b) Forma Livre ou Esterificada dos Ácidos Graxos: Os ácidos graxos na forma livre oxidam mais rapidamente do que os esterificados. Óleos com altos níveis de insaturação, como o óleo de soja, são mais instáveis e mais propensos à oxidação, em comparação com gorduras saturadas, como a gordura de coco, que são mais estáveis.

c) Concentração de Oxigênio: A presença e a concentração de oxigênio nos alimentos afetam diretamente a taxa de oxidação. Alimentos expostos a altos níveis de oxigênio ou armazenados em ambientes ricos em oxigênio são mais propensos a sofrer oxidação.

d) Umidade (atividade de água): A atividade da água é fundamental para o processo de oxidação. Em alimentos secos, a oxidação ocorre mais rapidamente. Em níveis moderados de umidade, a oxidação pode ser retardada, enquanto níveis elevados de Aw aumentam a taxa de oxidação devido à maior mobilidade de oxigênio e catalisadores metálicos.

e) Tratamento Térmico: O calor acelera as reações de oxidação. Processos como pasteurização e esterilização podem aumentar a taxa de oxidação, enquanto a refrigeração reduz a velocidade do processo, embora não o impeça completamente devido à maior solubilidade do oxigênio em temperaturas mais baixas.

f) Lipoxigenase: Esta enzima, encontrada em vegetais, catalisa a oxidação de ácidos graxos poli-insaturados, formando peróxidos que contribuem para a descoloração e deterioração dos alimentos. A ação da lipoxigenase também gera radicais livres que podem oxidar carotenoides e polifenóis, causando alterações nas características sensoriais dos alimentos.

g) Metais (Ferro e Cobre): Íons metálicos, como ferro e cobre, atuam como catalisadores nas reações de oxidação, acelerando a decomposição de peróxidos e intensificando o processo oxidativo. Esse efeito é particularmente notável em alimentos que contêm traços desses metais, seja por sua composição natural ou por contato com equipamentos de processamento.

h) Metaloproteínas: Proteínas contendo metais, como as hemoproteínas, também catalisam a oxidação lipídica. Em carnes, por exemplo, o contato dessas proteínas com lipídios pode acelerar o processo oxidativo, levando à rancidez e deterioração do produto. Esse efeito é particularmente rápido em carne moída devido à maior exposição das metaloproteínas ao oxigênio e aos lipídios.

10. IMPACTO DA OXIDAÇÃO LIPÍDICA PARA A SEGURANÇA E QUALIDADE DOS ALIMENTOS

A oxidação lipídica é um dos parâmetros de qualidade mais relevantes nos alimentos, pois esse processo leva à deterioração de nutrientes, sabor, textura e aparência, comprometendo a qualidade dos produtos que contêm lipídios, reduzindo sua vida de prateleira e ocasionando grandes perdas econômicas (BARDEN e DECKER, 2016).

11. FORMAÇÃO DE COMPOSTOS TÓXICOS

A oxidação lipídica resulta na formação de uma grande variedade de produtos químicos, muitos dos quais têm implicações significativas para a saúde e a qualidade dos

alimentos. Entre os compostos mais estudados estão a acroleína, o 4-hidroxi-nonenal, o 4-hidroxi-hexenal, o crotonaldeído, o malondialdeído e o óxido de colesterol (SOTTERO et al., 2019; GHNIMI et al., 2017). A oxidação lipídica começa com a formação de peróxidos, que são os produtos primários dessa reação. Esses peróxidos, por sua vez, sofrem degradação, levando à criação de compostos secundários, como aldeídos, cetonas, epóxidos e compostos hidroxilados. Além disso, a reação de oxidação pode resultar na formação de oligômeros e polímeros, que são frequentemente utilizados como indicadores do grau de oxidação que os lipídios sofreram (KINTER, 1995; KUNYABOON et al., 2021). Esses produtos secundários são de particular interesse, pois muitos deles têm propriedades tóxicas e podem comprometer a segurança de alimentas, além de degradar a qualidade nutricional dos alimentos.

12. RELAÇÃO COM O DESENVOLVIMENTO DE DOENÇAS CRÔNICAS

A oxidação lipídica é um fenômeno de grande importância na indústria alimentícia, não apenas pelos efeitos negativos que provoca na qualidade dos alimentos, como a deterioração do sabor, textura e aparência, mas também pelo impacto expressivo que pode ter sobre a saúde humana, ao contribuir para a formação de compostos potencialmente tóxicos. Os compostos tóxicos resultantes desse processo podem desencadear diversas reações biológicas prejudiciais, tanto pela ingestão de alimentos oxidados quanto pelos efeitos internos no organismo (VIEIRA et al., 2017). Os alimentos fritos, em particular, apresentam um nível elevado de oxidação lipídica em comparação com alimentos não processados, o que contribui para um aumento do risco de desenvolvimento de doenças crônicas quando consumidos em excesso (SAYON-OREA et al., 2015). Isso ocorre porque o processo de fritura intensifica a formação de produtos oxidativos que têm potencial prejudicial à saúde (OLIVEIRA et al., 2024).

O colesterol é vulnerável à oxidação devido à presença de uma ligação dupla entre os carbonos C5 e C6 em sua estrutura molecular. Esse processo oxidativo leva à formação de produtos de oxidação do colesterol, conhecidos como COPs (compostos de oxidação do colesterol) ou óxidos de colesterol (BARRIUSO et al., 2017). COPs presentes em alimentos processados e submetidos a altas temperaturas têm sido associados a diversos efeitos nocivos à saúde, incluindo alterações no metabolismo celular, aumento do risco de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, além de inflamação e morte celular (GARCIA-LLATAS et al., 2021; UCHIKAWA et al., 2022). Quando ingeridos, esses óxidos podem ser absorvidos pela corrente sanguínea e se acumular em órgãos e tecidos, exacerbando os danos ao longo do tempo (GARCIA-LLATAS et al., 2021).

Além disso, estudos indicam que a progressão da doença de Alzheimer está associada a um aumento contínuo na concentração de compostos tóxicos, como 4-hidroxi-hexenal, 4-hidroxi-nonenal e acroleína, formados durante a oxidação lipídica. Esses compostos danificam as gorduras presentes nas células cerebrais, contribuindo para o avanço da doença e agravando seus sintomas (BRADLEY et al., 2012). Compostos como malondialdeído, ácidos graxos epóxi, ácidos graxos trans e 2-hexenal, gerados durante o cozimento, possuem propriedades mutagênicas, genotóxicas e cancerígenas, e estão fortemente associados a um aumento no risco de doenças cardiovasculares (GROOTVELD et al., 2020).

Ganesan, Sukalingam e Xu (2019) demonstraram que o aquecimento repetido de óleo de colza resulta na formação de grandes quantidades de ácidos graxos trans e produtos altamente oxidativos, que, quando ingeridos, aumentam significativamente o

risco de doenças cardiovasculares. A fumaça liberada durante o aquecimento repetido do óleo contém carcinógenos voláteis, como malondialdeído, 4-hidroxi-trans-2-nonenal, 4-hidroxi-hexenal, dibenzoantreno e benzopireno, todos altamente prejudiciais à saúde humana (GANESAN et al., 2019; GANESAN e XU, 2020; VIEIRA et al., 2017).

A acroleína, um subproduto gerado pela degradação térmica do glicerol, é frequentemente encontrada em alimentos fritos e sua exposição dietética pode aumentar significativamente o risco de danos à saúde (JIANG et al., 2022). Outro composto nocivo, o crotonaldeído, formado durante a fritura (GRANVOGL, 2014), pode causar danos oxidativos às células testiculares, inibir enzimas relacionadas à produção de testosterona e, por consequência, reduzir os níveis desse hormônio (ZHANG et al., 2020).

Adicionalmente, estudos revelam que o 2-butenal, encontrado em alimentos como óleo de colza aquecido, batatas fritas e donuts, pode induzir o desenvolvimento de tumores (HUANG e AHN, 2019). O malondialdeído, presente em alimentos fritos com amido, está associado ao aumento do risco de doenças cardiovasculares e câncer (KARIMI et al., 2022). Já o 4-hidroxi-trans-2-nonenal, encontrado em alimentos ricos em ácidos graxos poli-insaturados, como batatas fritas e óleo comestível, tem sido relacionado ao desenvolvimento de aterosclerose, câncer, diabetes e doenças neurodegenerativas (LIAO et al., 2020).

13. IMPACTO NA QUALIDADE SENSORIAL E NUTRICIONAL DOS ALIMENTOS

A oxidação lipídica exerce um impacto significativo na percepção sensorial dos alimentos, comprometendo de maneira marcante tanto o sabor quanto o aroma, o que pode resultar em uma experiência desagradável para o consumidor. (HENNEBELLE et al., 2024). Durante esse processo, formam-se compostos voláteis, como aldeídos e cetonas, que são responsáveis por sabores indesejáveis, como o rançoso e o metálico, frequentemente relacionados à deterioração de alimentos (SHAHIDI e HOSSAIN, 2022; WANG e SHAHIDI, 2020; Hill et al., 2020). Além de comprometer o sabor, a oxidação interfere na textura de alimentos, especialmente em produtos cárneos, alterando sua capacidade de retenção de água e a solubilidade das proteínas. Essas alterações não apenas afetam a qualidade sensorial, mas também comprometem o valor nutricional, resultando em uma deterioração global do alimento (GRAY et al., 1996; TORRICO et al., 2018).

Esse impacto é ainda mais evidente em alimentos ricos em ácidos graxos essenciais, como o ômega-3 e o ômega-6, que são altamente suscetíveis à oxidação devido à sua estrutura química (CARVALHO et al., 2021; SOTTERO et al., 2019). Quando esses nutrientes se degradam, seu papel importante na saúde humana é comprometido. Isso é especialmente preocupante em produtos como o óleo de peixe, onde a oxidação dos ácidos graxos poli-insaturados leva à perda de propriedades funcionais e nutricionais, afetando significativamente a qualidade do alimento (ARAB-TEHRANY et al., 2012; DACARANHE e TERAO, 2001). Além dos ácidos graxos, as vitaminas lipossolúveis, como A, D, E e K, também são afetadas pelo processo oxidativo (ABE-MATSUMOTO et al., 2019). A vitamina E, por exemplo, que é um antioxidante natural presente em alimentos gordurosos, acaba sendo degradada ao tentar neutralizar os radicais livres formados durante a oxidação. Isso resulta em sua perda, o que diminui o valor nutricional do alimento (AHMED et al., 2016; MAHMOODANI et al., 2018). Como essas vitaminas desempenham funções essenciais no corpo, sua redução afeta diretamente a saúde de quem consome esses alimentos.

A oxidação lipídica vai além da simples degradação de ácidos graxos e vitaminas; ela também impacta a biodisponibilidade de nutrientes essenciais, como aminoácidos e minerais. Segundo Jorge (2009), a oxidação pode comprometer a absorção de nutrientes, pois ácidos graxos oxidados reagem com proteínas, reduzindo a disponibilidade de aminoácidos essenciais. Esse processo compromete a capacidade do organismo de absorver esses nutrientes de forma eficaz, o que pode resultar em impactos negativos à saúde a longo prazo (GENG, LIU e ZHANG, 2023; JORGE, 2009). Essa degradação contínua leva a uma perda considerável de propriedades sensoriais e nutricionais, prejudicando tanto a aceitação quanto a segurança do produto ao longo do tempo (BARDEN e DECKER, 2016).

14. MÉTODOS DE DETECÇÃO DA OXIDAÇÃO LIPÍDICA

A oxidação lipídica é um fator crítico na indústria alimentícia, influenciando de maneira significativa a qualidade e a segurança dos alimentos. A avaliação precisa da rancidez em óleos e gorduras é, portanto, essencial para assegurar a integridade dos alimentos. Jorge (2009) apresenta uma variedade de métodos para a detecção da oxidação lipídica, cada um apropriado para diferentes estágios e aspectos do processo oxidativo. A seguir, são detalhados os principais métodos descritos:

a) Avaliação Sensorial: Este método avalia diretamente a percepção do consumidor em relação a odores e sabores desagradáveis, como o ranço, resultantes da oxidação dos lipídios. É altamente sensível e capaz de detectar pequenas quantidades de produtos de degradação, mas é caro, complexo e subjetivo, variando de acordo com a sensibilidade dos indivíduos. Geralmente, a rancidez torna-se perceptível sensorialmente quando a concentração de peróxidos atinge 0,5%.

b) Índice de Peróxidos: Mede a quantidade de peróxidos, que são os primeiros produtos formados durante a oxidação dos lipídios. A avaliação é feita em miliequivalentes de oxigênio por quilograma de gordura, utilizando o método iodométrico. Embora amplamente usado para avaliar a oxidação inicial, este método pode apresentar imprecisões devido à interferência do iodo e do oxigênio.

c) Teste do Ácido 2-Tiobarbitúrico (TBA): Este teste detecta produtos secundários da oxidação, como o malonaldeído, que reage com o ácido tiobarbitúrico formando um complexo vermelho medido a 532-535 nm. É eficaz para identificar estágios avançados de oxidação e é comumente aplicado no controle de qualidade de alimentos lipídicos.

d) Índice de Iodo: Mede a quantidade de iodo absorvido por 100 g de gordura, indicando o nível de insaturação dos óleos e gorduras. Um índice de iodo mais alto sugere maior insaturação e, consequentemente, maior susceptibilidade à oxidação.

e) Métodos Cromatográficos: Utilizam cromatografia para identificar e quantificar compostos voláteis associados à oxidação lipídica, fornecendo uma visão detalhada da degradação de óleos e gorduras.

f) Método do Oxigênio Ativo (AOM): Avalia a estabilidade dos óleos ao passar ar através do óleo aquecido a 98ºC e medir o índice de peróxidos ao longo do tempo. Esse método pode levar de 1 a 3 dias e é criticado por seu elevado consumo de reagentes e solventes.

g) Teste de Estufa (Método Schaal): Armazena o óleo a 60-70°C e avalia a oxidação por meio de análises periódicas e avaliações sensoriais. Embora simples, sua precisão pode ser afetada pela falta de padronização.

h) Dienos Conjugados: Mede a oxidação de ácidos graxos poli-insaturados pela absorção de luz em 232 nm e 272 nm. Um aumento na absorção a 232 nm indica oxidação avançada, enquanto a absorção a 272 nm reflete a presença de produtos secundários.

i) Índice de p-Anisidina: Avalia a deterioração dos óleos medindo a cor formada pela reação da p-anisidina com aldeídos. Juntamente com o índice de peróxidos, calcula-se o valor Totox para avaliar a conservação do óleo.

j) Teste de Kreis: Detecta a oxidação inicial através de uma reação colorida entre floroglucinol e epoxialdeídos. É um método rápido, mas pode ser influenciado pela presença de aditivos.

k) Compostos Carbonílicos: Mede a quantidade de aldeídos e cetonas formados na oxidação dos lipídios, utilizando uma reação que produz uma cor detectada por espectrofotometria.

l) Método Rancimat: Avalia a estabilidade dos óleos medindo a condutividade elétrica da água onde os ácidos voláteis da oxidação são dissolvidos. Este método é preciso e automatizado.

m) Fluorimetria: Detecta produtos oxidativos com grupos amino livres. É altamente sensível e usado para avaliar a oxidação em sistemas biológicos.

n) Absorção de Oxigênio: Mede o aumento de peso das amostras lipídicas devido à absorção de oxigênio durante o armazenamento. Este método é simples, mas é eficaz apenas em estágios avançados de oxidação.

15. ESTRATÉGIAS PARA PREVENIR OU MINIMIZAR A OXIDAÇÃO LIPÍDICA

A oxidação lipídica pode ser controlada ou atrasada por diferentes abordagens, como a limitação do contato do alimento com o oxigênio, a quelação de metais de transição, a neutralização de radicais livres e a alteração da composição dos ácidos graxos (WOOD et al., 2008). O acesso ao oxigênio durante o armazenamento depende dos métodos e materiais de embalagem, com técnicas como embalagem a vácuo, atmosfera modificada e materiais permeáveis seletivos sendo amplamente utilizadas para conservação de alimentos (HUANG e AHN, 2019). Adicionalmente, embalagens ativas, enriquecidas com antioxidantes, antimicrobianos ou agentes que removem oxigênio, são eficazes para evitar a oxidação e melhorar a segurança do produto durante o armazenamento (FANG et al., 2017).

Os antioxidantes desempenham um papel essencial na interrupção dos processos oxidativos. Antioxidantes sintéticos, como o BHA (hidroxianisol butilado), BHT (hidroxitolueno butilado), TBHQ (terc-butil hidroquinona) e PG (galato de propila), têm sido amplamente utilizados para retardar a oxidação dos lipídios. No entanto, preocupações com possíveis efeitos cancerígenos associados a esses compostos têm levado a regulamentações mais rigorosas e a uma busca crescente por alternativas naturais (AUGUSTYNIAK et al., 2010; LU et al., 2020). Antioxidantes naturais, obtidos de fontes vegetais, animais e microrganismos, têm demonstrado eficácia na proteção contra o estresse oxidativo, e seu uso tem se expandido em alimentos, cosméticos e produtos

farmacêuticos (DOBRIVALSKYTĖ et al., 2012; DUTHIE et al., 2013; KSOUDA et al., 2019; KARRE et al., 2013; FALOWO, FAYEMI e MUCHENJE, 2014).

Outro método eficaz para aumentar a estabilidade de ácidos graxos poli-insaturados, como ômega-3 (EPA e DHA), é o encapsulamento e a proteção contra a luz. Esses ácidos graxos, presentes em óleos de peixe e algas, são altamente benéficos para a saúde cardiovascular e cerebral, mas também muito vulneráveis à oxidação (JOHNSON et al., 2018; ARAB-TEHRANY et al., 2012). As técnicas de encapsulamento auxiliam na preservação desses compostos (ATTA et al., 2022). Essas estratégias são essenciais para manter a qualidade dos alimentos e evitar problemas de saúde associados ao estresse oxidativo (CUNHA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019).

16. CONCLUSÃO

A oxidação lipídica exerce um impacto significativo na preservação e segurança dos alimentos, afetando tanto sua qualidade nutricional quanto sensorial. A formação de compostos tóxicos durante esse processo, além da degradação de nutrientes essenciais, compromete não apenas o valor nutricional dos produtos, mas também pode prejudicar a saúde humana ao aumentar o risco de doenças crônicas. A oxidação também contribui para a perda de sabor, aroma e textura, levando ao desperdício alimentar e à insatisfação dos consumidores. Diante desses desafios, é fundamental implementar medidas eficazes de prevenção, como o uso de antioxidantes naturais e sintéticos, além de práticas adequadas de embalagem e armazenamento, que possam retardar a oxidação e preservar a integridade dos alimentos. Garantir a estabilidade dos lipídios é, portanto, um passo fundamental para oferecer produtos alimentícios mais seguros, saudáveis e de maior durabilidade, atendendo às demandas de uma sociedade cada vez mais consciente da importância da qualidade alimentar.

REFERÊNCIAS

[1] ABE-MATSUMOTO, L. T.; SAMPAIO, G. R.; BASTOS, D. H. M. Stability of antioxidant vitamins in commercial vitamin supplements. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 54, n. 04, p. e17700, 2019.

[2] AHMED, M. J. P. T. *et al*. Oxidation of lipids in foods. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 32, n. 3, p. 230-238, 2016.

[3] ARAB-TEHRANY, E. *et al*. Beneficial effects and oxidative stability of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. **Trends in Food Science & Technology**, v. 25, n. 1, p. 24-33, 2012.

[4] ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: teoria e prática**. 4.ed. Viçosa, MG: UFV, 2008.

[5] ASLAM, A.; SCHROËN, K. Lipid oxidation in food emulsions: a review dedicated to the role of the interfacial area. **Current Opinion in Food Science**, v. 51, p. 101009, 2023.

[6] ATTA, O. M. *et al*. Biobased materials for active food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 125, p. 107419, 2022.

[7] AUGUSTYNIAK, A. *et al*. Natural and synthetic antioxidants: an updated overview. **Free Radical Research**, v. 44, n. 10, p. 1216-1262, 2010.

[8] BARDEN, L.; DECKER, E. A. Lipid oxidation in low-moisture food: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 15, p. 2467-2482, 2016.

[9] BARRIUSO, B.; ANSORENA, D.; ASTIASARÁN, I. Oxysterols formation: A review of a multifactorial process. **The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology**, v. 169, p. 39-45, 2017.

[10] BŁASZCZYK, A.; AUGUSTYNIAK, A.; SKOLIMOWSKI, J. Ethoxyquin: an antioxidant used in animal feed. **International Journal of Food Science**, v. 2013, n. 1, p. 585931, 2013.

[11] BOBBIO, P. A; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3.ed. São Paulo: Varela, 2001.

[12] BRADLEY, M. A. *et al*. Elevated 4-hydroxyhexenal in Alzheimer's disease (AD) progression. **Neurobiology of Aging**, v. 33, n. 6, p. 1034-1044, 2012.

[13] CARVALHO, I. O. A. M. *et al*. The use of lemon juice and its role on polyunsaturated fatty acids and cholesterol oxides formation in thermally prepared sardines. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 104, p. 104087, 2021.

[14] CUNHA, L. C. M. *et al*. Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products. **Food Research International**, v. 111, p. 379-390, 2018.

[15] DACARANHE, C. D.; TERAO, J. Effect of phosphatidic acid and phosphatidylserine on lipid oxidation in beef homogenate during storage and in emulsified sardine oil. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 3, p. 422-427, 2001.

[16] DOBRAVALSKYTĖ, D.; VENSKUTONIS, P. R.; TALOU, T. Antioxidant properties and essential oil composition of Calamintha grandiflora L. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1539-1546, 2012.

[17] DOMÍNGUEZ, R. *et al*. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 429, 2019.

[18] DUTHIE, G. *et al*. Antioxidant effectiveness of vegetable powders on the lipid and protein oxidative stability of cooked turkey meat patties: Implications for health. **Nutrients**, v. 5, n. 4, p. 1241-1252, 2013.

[19] FALOWO, A. B.; FAYEMI, P. O.; MUCHENJE, V. Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. **Food Research International**, v. 64, p. 171-181, 2014.

[20] FANG, M. C. *et al.* Physicochemical and volatile flavor properties of fish skin under conventional frying, air frying and vacuum frying. **Molecules**, v. 28, n. 11, p. 4376, 2023.

[21] GANESAN, K.; SUKALINGAM, K.; XU, B. Impact of consumption of repeatedly heated cooking oils on the incidence of various cancers-A critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 3, p. 488-505, 2019.

[22] GANESAN, K.; XU, B. Deep frying cooking oils promote the high risk of metastases in the breast-A critical review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 144, p. 111648, 2020.

[23] GARCIA-LLATAS, G. *et al*. Oxysterols how much do we know about food occurrence, dietary intake and absorption?. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 231-239, 2021.

[24] GENG, L.; LIU, K.; ZHANG, H. Lipid oxidation in foods and its implications on proteins. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. 1192199, 2023.

[25] GHNIMI, S.; BUDILARTO, E.; KAMAL-ELDIN, A. The new paradigm for lipid oxidation and insights to microencapsulation of omega-3 fatty acids. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 6, p. 1206-1218, 2017.

[26] GRANVOGL, M. Development of three stable isotope dilution assays for the quantitation of (E)-2-butenal (crotonaldehyde) in heat-processed edible fats and oils as well as in food. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 6, p. 1272-1282, 2014.

[27] GRAY, J. I.; GOMAA, E. A.; BUCKLEY, D. J. Oxidative quality and shelf life of meats. **Meat Science**, v. 43, p. 111-123, 1996.

[28] GROOTVELD, M. *et al*. Potential adverse public health effects afforded by the ingestion of dietary lipid oxidation product toxins: Significance of fried food sources. **Nutrients**, v. 12, n. 4, p. 974, 2020.

[29] HENNEBELLE, M. *et al*. Lipid oxidation in emulsions: New insights from the past two decades. **Progress in Lipid Research**, p. 101275, 2024.

[30] HILL, E. S.; KRISHNAMURTHY, R. G.; HOSSAIN, A.; SHAHIDI, F. Cooking oils, salad oils, and dressings. In: SHAHIDI, F., editor. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 7. ed. John Wiley & Sons Ltd.; New York, NY, pp. 1–33, USA: 2020.

[31] HUANG, X.; AHN, D. U. Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, n. 5, p. 1275-1285, 2019.

[32] JIANG, K. *et al*. Origin and fate of acrolein in foods. **Foods**, v. 11, n. 13, p. 1976, 2022.

[33] JOHNSON, D. R.; INCHINGOLO, R.; DECKER, E. A. The ability of oxygen scavenging packaging to inhibit vitamin degradation and lipid oxidation in fish oil-in-water emulsions. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 47, p. 467-475, 2018.

[34] JORGE, N. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo: Cultura Acadêmica, v. 1, p. 165, 2009.

[35] KARIMI, S. *et al*. Evaluation of acrylamide and malondialdehyde levels in Tah-Dig of fried starchy foods: a case study in Iran. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 16, n. 3, p. 2434-2439, 2022.

[36] KINTER, M. Analytical technologies for lipid oxidation products analysis. **Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications**, v. 671, n. 1-2, p. 223-236, 1995.

[37] KLOOSTER, S. T.; SCHROËN, K.; BERTON-CARABIN, C. Lipid oxidation products in model food emulsions: do they stay in or leave droplets, that's the question. **Food Chemistry**, v. 405, Part B, 2023.

[38] KOUR, S.; BHAT, A.; LANGEH, A. Functional uses of lipids and proteins in food industry. **Agriculture & Food: E-newsletter**, v. 05, n. 05, 2023.

[39] KSOUDA, G. *et al*. Composition, antibacterial and antioxidant activities of Pimpinella saxifraga essential oil and application to cheese preservation as coating additive. **Food Chemistry**, v. 288, p. 47-56, 2019.

[40] KUNYABOON, S. *et al*. Evaluation of lipid oxidation, volatile compounds and vibrational spectroscopy of silver carp *(Hypophthalmichthys molitrix)* during ice storage as related to the quality of its washed mince. **Foods**, v. 10, n. 3, p. 495, 2021.

[41] LI, H. *et al*. Inhibition of lipid oxidation in foods and feeds and hydroxyl radical-treated fish erythrocytes: A comparative study of Ginkgo biloba leaves extracts and synthetic antioxidants. **Animal Nutrition**, v. 2, n. 3, p. 234-241, 2016.

[42] LIAO, H.; ZHU, M.; CHEN, Y. 4-Hydroxy-2-nonenal in food products: A review of the toxicity, occurrence, mitigation strategies and analysis methods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 96, p. 188-198, 2020.

[43] LIU, W. *et al*. Influence of cooking techniques on food quality, digestibility, and health risks regarding lipid oxidation. **Food Research International**, v. 167, p. 112685, 2023.

[44] LU, T. *et al.* Improving oxidative stability of flaxseed oil with a mixture of antioxidants. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, p. e14355, 2020.

[45] MAHMOODANI, F. *et al*. Lipid oxidation and vitamin D3 degradation in simulated whole milk powder as influenced by processing and storage. **Food Chemistry**, v. 261, p. 149-156, 2018.

[46] MARKOVIC, Z. S.; MILENKOVIC, D. A.; FILIPOVIC, N. Different theoretical approaches in the study of antioxidative mechanisms. **Computational Modeling in Bioengineering and Bioinformatics**, v. 211, 2019.

[47] OLIVEIRA, V. S. *et al.* Impact of air frying on food lipids: Oxidative evidence, current research, and insights into domestic mitigation by natural antioxidants. **Trends in Food Science & Technology**, p. 104465, 2024.

[48] PURRINOS, L. *et al*. Development of volatile compounds during the manufacture of dry-cured "Lacón," a Spanish traditional meat product. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. C89-C97, 2011.

[49] RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

[50] RAMROUDI, F. *et al*. Investigation of the physicochemical properties of vegetable oils blended with sesame oil and their oxidative stability during frying. **International Journal of Food Science**, v. 2022, n. 1, p. 3165512, 2022.

[51] RIBEIRO, J. S. *et al*. Natural antioxidants used in meat products: A brief review. **Meat Science**, v. 148, p. 181-188, 2019.

[52] SARAEV, D. D.; PRATT, D. A. Reactions of lipid hydroperoxides and how they may contribute to ferroptosis sensitivity. **Current Opinion in Chemical Biology**, v. 81, p. 102478, 2024.

[53] SAYON-OREA, C.; CARLOS, S.; MARTÍNEZ-GONZALEZ, M. A. Does cooking with vegetable oils increase the risk of chronic diseases?: a systematic review. **British Journal of Nutrition**, v. 113, n. S2, p. S36-S48, 2015.

[54] SHAHIDI, F.; ABAD, A. Lipid-derived flavours and off-flavours in food. In: **Encyclopedia of Food Chemistry**, v. 2, p. 182–192, 2019.

[55] SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757–781, 2015.

[56] SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Oxidação lipídica e melhoria da estabilidade oxidativa. **Chemical Society Reviews**, v. 39, p. 4067–4079, 2010.

[57] SHAHIDI, F.; HOSSAIN, A. Role of lipids in food flavor generation. **Molecules**, v. 27, n. 15, p. 5014, 2022.

[58] SHAHIDI, F.; OH, W. Y. Lipid-derived flavor and off-flavor of traditional and functional foods: An overview. **Journal of Food Bioactives, v. 10, 2020**.

[59] SILVA, R. C. *et al*. Oleogels as a fat substitute in food: A current review. **Gels**, v. 9, n. 3, p. 180, 2023.

[60] SINGH, P.; SINGH, T. P.; GANDHI, N. Prevention of lipid oxidation in muscle foods by milk proteins and peptides: A review. **Food Reviews International**, v. 34, n. 3, p. 226-247, 2018.

[61] SOTTERO, B. *et al*. Lipid oxidation derived aldehydes and oxysterols between health and disease. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 121, n. 1, p. 1700047, 2019.

[62] SUZUKI, T. Flavor and lipid deterioration in buckwheat flour related to lipoxygenase pathway enzymes. In: **Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat**, p. 335-343, 2016.

[63] TORRICO, D. D. *et al*. Novel techniques to understand consumer responses towards food products: A review with a focus on meat. **Meat Science**, v. 144, p. 30-42, 2018.

[64] UCHIKAWA, T. *et al*. Dietary 7-ketocholesterol exacerbates myocardial ischemia–reperfusion injury in mice through monocyte/macrophage-mediated inflammation. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 14902, 2022.

[65] VIEIRA, S. A.; ZHANG, G.; DECKER, E. A. Biological implications of lipid oxidation products. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 94, p. 339-351, 2017.

[66] VITRAC, O.; TRYSTRAM, G.; RAOULT-WACK, A.-L. Deep-fat frying of food: Heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 102, n. 8-9, p. 529-538, 2000.

[67] WANG, X.; HO, C.-T.; SHAHIDI, F. Flavor components of fats and oils. In: SHAHIDI, F., editor. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 7. ed. John Wiley & Sons Ltd.; New York, NY, USA, pp. 1–25, 2020.

[68] WANG, D. *et al*. Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. **Oil Crop Science**, v. 8, n. 1, p. 35-44, 2023.

[69] WANG, H. *et al*. Effect of high pressure processing on rancidity of brown rice during storage. **LWT**, v. 93, p. 405-411, 2018.

[70] ZHANG, B. *et al*. Crotonaldehyde-induced alterations in testicular enzyme function and hormone levels, and apoptosis in the testes of male Wistar rats are associated with oxidative damage. **Toxicology Mechanisms and Methods**, v. 30, n. 1, p. 19-32, 2020.

CAPÍTULO

07

Hidrolisado proteico de resíduos da pesca: transformando desperdício em fontes valiosas de bioativos

Maria de Morais Lima, Lorena Limão Vieira dos Santos, Guilherme Borges Ferreira, Emerson Adriano Guarda, Patricia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

Conforme estabelecido no Art. 205 do novo RIISPOA (BRASIL, 2020), o termo "pescado" abrange uma ampla variedade de animais aquáticos destinados ao consumo humano. Isso inclui peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos e outros organismos aquáticos que são utilizados na alimentação.

O relatório mais recente da FAO (2024) destaca que o setor de pesca e aquicultura atingiu avanços significativos, marcando um feito histórico em 2022. Nesse ano, a produção global combinada de pesca e aquicultura chegou a um impressionante total de 223,2 milhões de toneladas, um número recorde que gerou uma receita também inédita de 472 bilhões de dólares. Além de sua relevância econômica, o setor desempenha um papel fundamental na alimentação mundial, fornecendo em média 20,7 kg de alimentos aquáticos por pessoa, o que equivale a cerca de 15% do total de proteínas de origem animal consumidas globalmente (XIMENES e VIDAL, 2023). Esses dados evidenciam a crescente importância dos produtos aquáticos não apenas para atender à demanda alimentar global, mas também para fortalecer a economia, especialmente em regiões que dependem desses recursos para sustento e desenvolvimento.

A indústria de processamento de pescado, no entanto, gera uma quantidade significativa de resíduos, estimada em mais de 60% do peixe processado. Esses resíduos incluem pele, cabeças e vísceras, que tradicionalmente são destinados a produtos de baixo valor, como farinha e silagem de peixe, contribuindo para problemas de poluição ambiental e manejo inadequado de resíduos (DESAI et al., 2022). O teor de proteínas nesses resíduos varia conforme o tipo, com concentrações entre 8% e 27%, dependendo da parte analisada. As vísceras, por exemplo, contêm de 9% a 23% de proteínas, enquanto as cabeças possuem de 11% a 13%. Na espinha dorsal, o teor proteico varia de 10% a 15%, na pele, de 8% a 12%, e no baço e nas ovas, de 14% a 27%. As aparas de peixe também apresentam variação, com proteínas entre 12% e 22% (BALANGE et al., 2023).

Esses resíduos, muitas vezes subutilizados, podem ser transformados em peptídeos menores, conhecidos como hidrolisados de proteína de peixe, através de processos de hidrólise. Esses hidrolisados possuem sequências de aminoácidos de 2 a 20 unidades, abrindo novas possibilidades de uso. Estudiosos vêm direcionando seus esforços para utilizar esses resíduos na produção de hidrolisados de proteína de pescado (FPH) por meio da hidrólise enzimática, que decompõe as proteínas em peptídeos menores. Os hidrolisados de proteína de pescado são concentrados com cerca de 90% de proteínas, apresentando propriedades funcionais excepcionais (HARYATI et al., 2020). Devido ao seu elevado potencial proteico e perfis de aminoácidos equilibrados, esses hidrolisados surgem como alternativas de maior valor agregado, promovendo um

aproveitamento mais sustentável dos subprodutos (DESAI et al., 2022; PETRICORENA, 2015; NILSANG et al., 2005).

A hidrólise de proteínas de peixe gera peptídeos com propriedades moleculares distintas das proteínas originais. Esse processo quebra as ligações peptídicas, reduzindo a massa molecular e aumentando a exposição de grupos hidrofóbicos e aminoácidos das cadeias laterais. Como resultado, os hidrolisados apresentam maior solubilidade e capacidade de absorção (GHRIBI et al., 2015). Além disso, os peptídeos bioativos derivados dessas proteínas desempenham papéis importantes em diversos sistemas do corpo humano, como os sistemas digestivo, cardiovascular, imunológico, neurológico e endócrino.

Esses compostos atuam como reguladores biologicamente ativos, proporcionando benefícios à saúde e contribuindo para a preservação de alimentos ao prevenir tanto a oxidação quanto a deterioração microbiana.Suas propriedades bioativas estão diretamente relacionadas à composição de aminoácidos, sequência molecular e grau de hidrofobicidade (BOUGATEF et al., 2010). Ademais, os peptídeos apresentam potencial terapêutico, auxiliando no tratamento de várias doenças e distúrbios, o que favorece a melhoria da qualidade de vida (SÁNCHEZ e VÁZQUEZ, 2017).

Os hidrolisados proteicos podem ser obtidos tanto por métodos químicos quanto biológicos. Na indústria, a hidrólise química é mais comum devido ao menor custo, mas a hidrólise enzimática se destaca pela capacidade de gerar produtos de maior qualidade. Nesse processo, enzimas proteolíticas são utilizadas para solubilizar as proteínas do pescado, promovendo a liberação de peptídeos bioativos (FERNANDES et al., 2016).

A seleção adequada da enzima é fundamental para o sucesso da hidrólise enzimática, pois afeta diretamente tanto o rendimento quanto as características funcionais dos peptídeos gerados. Dentre as enzimas disponíveis, a Alcalase, uma endopeptidase bacteriana alcalina, é amplamente reconhecida como uma das melhores opções para hidrolisar proteínas de pescado (GUERARD et al., 2010). A eficácia da hidrólise enzimática depende não apenas da escolha da enzima, mas também das condições em que o processo é realizado. O controle desses parâmetros é essencial para otimizar a liberação de peptídeos com propriedades funcionais, especialmente aqueles com atividade antioxidante (GAO et al., 2021). Lima et al. (2019) relatam que o tempo de reação também influencia a capacidade antioxidante do peptídeo produzido. Este trabalho tem como objetivo explorar o potencial dos resíduos gerados pela indústria pesqueira na criação de produtos de alto valor agregado. Este estudo, fundamentado em uma revisão de literatura, abrange artigos científicos das bases de dados Capes, Science Direct e Scopus, com o objetivo de identificar os resíduos de pescado como fontes promissoras para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado, ressaltando seus benefícios à saúde. Além disso, o trabalho investiga as propriedades biológicas dos hidrolisados proteicos de pescado e suas principais aplicações.

2. SUBPRODUTOS DA PESCA E IMPACTO AMBIENTAL

O aumento no consumo de peixes e produtos pesqueiros tem levado a uma maior geração de resíduos e subprodutos durante o processamento. Estima-se que mais de 50% dos peixes capturados não são utilizados diretamente para consumo, o que gera uma quantidade significativa de matéria-prima que pode ser reaproveitada (KRISTINSSON; RASCO, 2000). No processamento tradicional de peixes, apenas 30 a 50% do corpo do

peixe é aproveitado, enquanto partes como pele (5%), cabeça (20-25%) e espinhas (25-35%) permanecem subutilizadas. Essas proporções podem variar de acordo com a espécie do peixe (THIRUKUMARAN et al., 2022; BORONAT et al., 2023).

Com o crescente interesse em promover a sustentabilidade na indústria pesqueira, estudos têm se concentrado na utilização de subprodutos de peixe na criação de produtos de valor agregado, como farinha de peixe, silagem e fertilizantes (PUJA et al., 2024; SINGH et al., 2022). A farinha de peixe, por exemplo, representa cerca de 28% do processamento de peixes e crustáceos, sendo rica em energia, proteínas e ômega-3, com aplicação comum na alimentação de aves e animais de estimação, melhorando a eficiência nutricional (BIMBO; CROWTHER, 1992). Além disso, a silagem de peixe, obtida ao liquidificar peixes inteiros ou partes deles com a adição de ácidos, enzimas ou bactérias lácticas, surge como uma alternativa eficiente e econômica para reciclar resíduos de peixe, sendo utilizada principalmente como ração animal e fertilizante (ARRUDA et al., 2009). Esse processo transforma os resíduos em uma mistura líquida rica em proteínas hidrolisadas e nutrientes, o que facilita a digestão por espécies aquáticas e terrestres (ISLÃ et al., 2021).

Os resíduos de peixe também podem ser convertidos em fertilizantes, tanto sólidos quanto líquidos, ou combinados com outros materiais para formar compostos de peixe. Kalbani et al. (2016) indicam que fertilizantes de peixe promovem o crescimento de plantas, como tomates, melhorando o diâmetro do caule e a produção de frutos. Além disso, fertilizantes hidrolisados de peixe são uma fonte rápida de nitrogênio para plantas, potencializando sua eficácia (GAGNON; BERROUARD, 1994).

Outro aspecto relevante é a transformação dos subprodutos da pesca em produtos de maior valor, como proteínas (colágeno, gelatina), hidrolisados de proteínas, peptídeos biologicamente ativos, aminoácidos, lipídios, quitina, quitosana, minerais e pigmentos, conforme destacado por Ozogul et al. (2021) e Phadke et al. (2021). A valorização desses resíduos de pescado é essencial para reduzir o desperdício e mitigar o impacto ambiental associado à pesca. O desperdício de alimentos, definido como o descarte intencional ou negligente de produtos ainda adequados para consumo humano, é um problema significativo na indústria pesqueira. Um exemplo notável é o descarte de peixes no oceano, conhecido como "desperdício", que contribui consideravelmente para as perdas globais de alimentos (FAO, 2020).

O impacto ambiental das pescarias está intimamente ligado ao descarte de peixes capturados. Atualmente, estima-se que 9,1 milhões de toneladas de peixes sejam descartadas por ano, o que corresponde a aproximadamente metade do volume de descartes registrados na década de 1980 (GILMAN et al., 2020). Para enfrentar esse desafio, o relatório da FAO (2020) sugere que a redução do desperdício de peixes na indústria pesqueira depende de uma série de iniciativas. Entre elas, destaca-se a necessidade de um ambiente político favorável que abranja setores essenciais, como gestão de resíduos, reciclagem, melhorias na infraestrutura, além de garantir a saúde e segurança dos alimentos. Implementar essas medidas é fundamental para promover práticas mais sustentáveis e eficientes ao longo da cadeia produtiva.

Portanto, a transformação de resíduos da pesca em produtos de alto valor agregado não só reduz o impacto ambiental, mas também fortalece a economia circular na indústria pesqueira, criando um ciclo virtuoso que beneficia tanto o meio ambiente quanto a sociedade.

3. HIDROLISADO PROTEICO DE PESCADO

As proteínas provenientes do pescado são amplamente reconhecidas por seu elevado valor nutricional e perfil equilibrado de aminoácidos essenciais, tornando-as uma excelente fonte de nutrição que atende aos padrões de qualidade estabelecidos pela FAO (1973). Além das proteínas encontradas nos músculos dos peixes, os subprodutos resultantes da captura e do processamento também são uma rica fonte de proteínas e aminoácidos, podendo ser utilizados para isolar compostos bioativos com boas propriedades funcionais (RATHOD et al., 2024).

Nesse contexto, a valorização dos resíduos de pescado frequentemente emprega a técnica de hidrólise, sendo a hidrólise enzimática uma das abordagens mais recorrentes. Essa técnica é preferida por muitos pesquisadores devido à sua eficiência em aproveitar os resíduos de peixes como substrato, minimizando a necessidade de tratamentos físicos ou químicos que possam degradar ou comprometer os compostos de alto valor presentes nesses resíduos. Além disso, a hidrólise enzimática é mais fácil de controlar, gerando menos reações indesejáveis e garantindo um processo mais seguro e eficaz (SINGH et al., 2022).

Os hidrolisados proteicos de pescado têm ganhado destaque na indústria por sua elevada qualidade nutricional e atividades biológicas benéficas. Esses compostos estão sendo cada vez mais utilizados como ingredientes funcionais em alimentos, medicamentos e outros produtos, devido à sua capacidade de promover a saúde e o bem-estar (HIMAYA et al., 2012). Nesse cenário, os subprodutos da indústria de pescado são submetidos ao processo de hidrólise para gerar hidrolisados proteicos e peptídeos, fragmentos de 2 a 20 aminoácidos com importantes funções bioativas, como efeitos anti-hipertensivos e a inibição da enzima conversora de angiotensina (ECA), conforme observado por Caruso et al. (2020).

Alfio et al. (2021) também evidenciam que esses hidrolisados possuem potentes atividades antioxidantes, protegendo contra lesões renais em camundongos submetidos a estresse oxidativo. Complementando esses achados, Ramkumar et al. (2016) evidenciaram que os peptídeos de peixe têm a capacidade de melhorar a função mitocondrial, estimular a expressão gênica e equilibrar os níveis de radicais livres, contribuindo para a restauração da produção de elastina.

As aplicações dos hidrolisados proteicos de pescado (FPH) são diversas e promissoras, abrangendo desde suplementos nutricionais, devido ao seu elevado teor de aminoácidos essenciais, até ingredientes e aditivos alimentares, onde desempenham funções importantes, como modulação de emulsificação e formação de espuma. Além disso, os FPH têm sido explorados como antioxidantes e nutracêuticos, graças à presença de peptídeos bioativos com potencial para melhorar a saúde (GAO et al., 2021). Estudos in vitro indicam que esses peptídeos possuem atividades biológicas variadas, incluindo capacidade de ligação ao cálcio, efeitos imunomoduladores, propriedades antidiabéticas, antiproliferativas, antimicrobianas, antioxidantes e anti-hipertensivas. Essas funções dependem do comprimento da cadeia peptídica, da composição e da sequência dos resíduos de aminoácidos, os quais são influenciados pelos parâmetros de processamento utilizados (NIRMAL et al., 2022; Gao et al., 2021).

A hidrólise de proteínas desempenha, assim, um papel essencial na melhoria dos aspectos nutricionais, funcionais e bioativos das proteínas provenientes do pescado. Esse processo pode ser realizado por meio de dois métodos principais: a hidrólise química e a hidrólise enzimática. Na hidrólise química, ácidos ou álcalis são utilizados para quebrar

as proteínas, enquanto a hidrólise enzimática faz uso de enzimas específicas para romper as ligações peptídicas de forma controlada e seletiva. Entre as enzimas empregadas, as proteases se destacam por sua capacidade de catalisar reações altamente específicas, formando um complexo com o substrato proteico que está sendo degradado (FERNANDES et al., 2016).

As proteases podem ser classificadas de acordo com o local onde atuam na cadeia polipeptídica: exopeptidases, que hidrolisam as ligações peptídicas nos terminais da proteína (C-terminal ou N-terminal), e endoproteinases, que clivam as ligações no interior da molécula. As exopeptidases são responsáveis pela liberação de peptídeos relativamente pequenos, gerando produtos de menor massa molecular, enquanto as endoproteinases atuam nas regiões internas das proteínas, produzindo peptídeos maiores. Essa distinção é fundamental para a produção de hidrolisados proteicos com propriedades bioativas específicas, ajustadas conforme o objetivo do processamento, seja para otimizar a digestibilidade, modular funções biológicas ou conferir propriedades industriais específicas (NAQVI et al., 2005).

Dentre os métodos de hidrólise disponíveis, a hidrólise enzimática é amplamente preferida em relação à hidrólise química, devido à sua especificidade, que permite uma ação controlada das enzimas, preservando as propriedades bioativas dos aminoácidos e minimizando a formação de subprodutos indesejados. Além disso, a hidrólise enzimática ocorre sob condições moderadas de pH e temperatura, facilitando o controle do grau de hidrólise e resultando em um produto final com características aprimoradas, como baixo teor de sal e melhor funcionalidade, fatores que tornam esse método atraente para diversas aplicações industriais (LIRA, 2010; AMORIM et al., 2016).

Um dos principais parâmetros para avaliar a eficiência da hidrólise enzimática é o grau de hidrólise, que se refere à porcentagem de ligações peptídicas rompidas em comparação à proteína original. Esse grau é influenciado por variáveis como a concentração de substrato, a relação enzima-substrato, o tempo de incubação e as condições físico-químicas, como pH e temperatura. A escolha adequada da enzima é determinante nesse processo, uma vez que a atividade específica e o mecanismo de ação de cada enzima afetam diretamente o grau de hidrólise alcançado e, consequentemente, a qualidade do produto final (BENÍTEZ et al., 2008).

As enzimas proteolíticas desempenham um papel central na quebra das ligações peptídicas das proteínas de pescado, influenciando o perfil dos peptídeos gerados. A especificidade das enzimas afeta o tamanho dos peptídeos, a quantidade de aminoácidos livres e a sequência desses resíduos, impactando diretamente as propriedades funcionais dos hidrolisados. Por exemplo, as endopeptidases atuam nas regiões internas das cadeias polipeptídicas, enquanto as exopeptidases clivam as extremidades, liberando aminoácidos terminais. A combinação dessas enzimas é frequentemente utilizada para promover uma degradação proteica mais eficiente e completa, resultando em hidrolisados com diferentes perfis funcionais (KARAMAĆ et al., 2016).

Portanto, a escolha adequada da enzima é fundamental para a produção de hidrolisados proteicos de pescado com características específicas. Diversas proteases, como alcalase, α-quimotripsina, neutrase, papaína, pepsina, tripsina, pancreatina, flavourzyme e bromelina, já foram utilizadas com sucesso nesse processo. Cada uma dessas enzimas possui características próprias que influenciam o perfil dos peptídeos resultantes, permitindo a personalização das propriedades funcionais e bioativas dos

hidrolisados para diferentes aplicações industriais, como alimentos funcionais, nutracêuticos e suplementos alimentares (NAKAJIMA et al., 2009; LI et al., 2016)

Ao otimizar variáveis como a seleção das enzimas, as condições de processamento e o controle do grau de hidrólise, é possível desenvolver hidrolisados proteicos de pescado altamente personalizados e funcionais. Essa abordagem aprimorada expande significativamente o potencial desses produtos, tornando-os adequados para uma ampla gama de setores industriais. Eles não apenas oferecem valor nutricional, mas também atendem a necessidades específicas de benefícios funcionais e bioativos, adaptando-se às demandas variadas do mercado.

4. PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DOS HIDROLISADOS DE PESCADO

Os hidrolisados proteicos têm se tornado cada vez mais notáveis devido às suas diversas atividades biológicas e seu valor nutricional elevado. Esses compostos agregam valor aos subprodutos pesqueiros e apresentam benefícios potenciais significativos para a saúde humana (OZOGUL et al., 2021; NAWAZ et al., 2020). Dentre as principais atividades biológicas dos hidrolisados de peixe, destacam-se suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas, neuroprotetoras e anti-hipertensivas (KIM et al., 2015a; KIM et al., 2015b e GAO et al., 2021).

5. ATIVIDADES ANTIOXIDANTE

O interesse por antioxidantes naturais tem crescido, uma vez que são considerados mais seguros em comparação com os antioxidantes sintéticos. Nesse contexto, os hidrolisados de proteínas de peixe têm se destacado por sua significativa atividade antioxidante, atraindo considerável atenção científica (OLIVEIRA et al., 2024; GIRGIH et al., 2015). Estudos recentes mostram que esses hidrolisados são fontes promissoras de peptídeos com propriedades antioxidantes (BARAIYA et al., 2024; SLIZYTE et al., 2016). Durante o processo de hidrólise das proteínas, peptídeos ativos são liberados e possuem a capacidade de neutralizar radicais livres, quelar íons metálicos que promovem oxidação e inibir a peroxidação lipídica em sistemas alimentares (YOU et al., 2010).

A eficácia antioxidante dos hidrolisados de peixe é influenciada por vários fatores, incluindo a especificidade da enzima protease utilizada e o grau de hidrólise das proteínas. Esses fatores afetam características como o peso molecular, a sequência de aminoácidos, a hidrofobicidade e a carga dos peptídeos formados. Peptídeos com pesos moleculares entre 500 e 1.500 Da geralmente apresentam maior atividade antioxidante em comparação com outros peptídeos (POWNALL et al., 2010). Aminoácidos hidrofóbicos são importantes para a eliminação de radicais livres e a quelatação de metais, enquanto aminoácidos aromáticos melhoram a capacidade antioxidante dos peptídeos (CHI et al., 2015).

De acordo com GAO et al. (2021), os hidrolisados de peixe demonstram forte atividade antioxidante, tanto em estudos in vivo quanto in vitro, sugerindo seu potencial para combater doenças associadas ao estresse oxidativo. Essa propriedade antioxidante foi documentada em várias espécies de peixes, incluindo tilápia (BERNARDI et al., 2016), bacalhau (Gadus morhua) (GIRGIH et al., 2015), sardinha (Sardinella aurita) (BOUGATÉF et al., 2010), escamudo (Pollachius virens) (CHABEAUD et al., 2009), linguado albacora (Limanda aspera) (JUN et al., 2004) e cavala (Scomber austriasicus) (WU et al., 2003).

6. MODULAÇÃO DO METABOLISMO LIPÍDICO

Os hidrolisados de pescado também têm mostrado potencial na modulação do metabolismo lipídico, particularmente no combate à obesidade e dislipidemia. Kim et al., (2015a) indicam que hidrolisados de peixes como atum, bagre amarelo e salmão reduzem a adipogênese em células 3T3-L1 e o ganho de peso induzido por dietas ricas em gordura em camundongos. Esses efeitos são mediados pela regulação negativa de C/EBPα e PPARγ, dois reguladores-chave da adipogênese, e pelo aumento da secreção de adiponectina, um hormônio que influencia o metabolismo lipídico (LEE et al., 2017).

Além disso, hidrolisados de pescado têm sido associados à melhora da intolerância à glicose e dislipidemia em modelos animais, atuando por meio da via mTORC1/S6K1/IRS1 no fígado (CHEVRIER et al., 2015). Observou-se também uma redução nos níveis de triacilgliceróis plasmáticos e hepáticos, acompanhada de menor expressão de genes lipogênicos e da atividade da enzima FAS (VIK et al., 2015). Esses resultados sugerem que os hidrolisados de pescado podem ser eficazes na prevenção e tratamento de doenças metabólicas relacionadas à obesidade.

7. EFEITO ANTI-INFLAMATÓRIO

Os hidrolisados de peixe têm demonstrado efeitos significativos na redução da inflamação, um processo essencial na resposta imunológica do corpo. No entanto, quando desregulada, a inflamação pode levar a diversas doenças, como aterosclerose, câncer, obesidade e distúrbios neurodegenerativos (HOOPER et al., 2012; GAO et al., 2021). Estudos mostram que hidrolisados de salmão e peixe-pólo do Alasca podem diminuir a produção de citocinas pró-inflamatórias, como TNF-α e IL-6, e a expressão de enzimas inflamatórias, através da inibição das vias de sinalização MAPK, NF-κB e JAK-STAT (AHN et al., 2015; SUBHAN et al., 2017).

Além disso, peptídeos derivados de esturjão mostraram potentes efeitos anti-inflamatórios tanto em estudos in vitro quanto in vivo. Esses peptídeos também foram capazes de modular a microbiota intestinal, melhorando a saúde intestinal e contribuindo para a redução da inflamação. Esses resultados sugerem que hidrolisados de peixe têm potencial para serem utilizados como agentes terapêuticos no tratamento de doenças inflamatórias (GAO et al., 2020).

8. EFEITO ANTICANCERÍGENO

Os hidrolisados de peixe têm demonstrado efeitos notáveis na inibição do crescimento de células cancerígenas. Pesquisas indicam que hidrolisados de espécies como rohu (Labeo rohita) e anchova (Setipinna taty) conseguem suprimir significativamente a proliferação de células de câncer de cólon, próstata, pulmão e esôfago (CHALAMIAH et al., 2015; SONG et al., 2014). Além disso, hidrolisados de pescado foram capazes de induzir apoptose, ou seja, morte celular programada, em células de câncer oral, por meio da geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) e da despolarização mitocondrial (YANG et al., 2016). A atividade antiproliferativa desses peptídeos parece estar relacionada a um maior conteúdo de aminoácidos hidrofóbicos, o que intensifica seu efeito sobre as células tumorais (SONG et al., 2011). Embora esses estudos in vitro ofereçam resultados encorajadores, são necessárias mais pesquisas in vivo para

confirmar o impacto desses compostos em organismos completos e sua eficácia como potenciais tratamentos anticancerígenos.

9. EFEITO NEUROPROTETOR

Os hidrolisados de peixe têm mostrado efeitos neuroprotetores promissores, com estudos sugerindo que eles podem ajudar a prevenir doenças neurodegenerativas relacionadas ao envelhecimento. Peptídeos bioativos extraídos de B. pterotum melhoraram a função cognitiva em camundongos com deficiências induzidas por d-galactose (CHAI et al., 2016). Além disso, hidrolisados de peixes-lanterna estimularam o crescimento de neuritos e aumentaram a expressão do fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF), favorecendo a comunicação neuronal (WANG et al., 2013; YANG et al., 2016). Outros estudos mostraram que peptídeos de carpa capim são eficazes na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e na melhoria da atividade antioxidante em células neuronais e em camundongos envelhecidos, o que pode reduzir o estresse oxidativo no cérebro (AZMI et al., 2013; CAI et al., 2015). Esses resultados indicam que hidrolisados de peixe e seus peptídeos têm potencial para serem utilizados como suplementos dietéticos para proteger o cérebro contra danos relacionados à idade, embora mais pesquisas sejam necessárias para confirmar esses efeitos em seres humanos.

10. EFEITO ANTIHIPERTENSIVO

A hipertensão está ligada à atividade da enzima conversora de angiotensina I (ACE), que transforma o peptídeo angiotensina I em angiotensina II, um potente vasoconstritor. Para tratar a hipertensão, a inibição da ACE é uma estratégia eficaz. Estudos mostram que hidrolisados de peixe, como os obtidos de lula, pargo e bacalhau, podem ajudar a reduzir a pressão arterial em ratos com hipertensão espontânea (BALTI et al., 2015; JENSEN et al., 2014). Esses efeitos são possíveis porque os hidrolisados de peixe ajudam a regular a produção de eNOS e ET-1, através da ativação da via de sinalização PPAR-γ nos pulmões.

Os ligantes de PPAR-γ promovem a dilatação dos vasos sanguíneos, melhoram a sensibilidade à insulina e ajudam a reduzir o risco de aterosclerose. Além disso, hidrolisados de gelatina da pele de raia têm mostrado a capacidade de reverter as mudanças nos vasos sanguíneos causadas pela hipertensão nos pulmões (NGO et al., 2014). A eficácia desses peptídeos está relacionada aos aminoácidos C-terminais específicos, como tirosina, triptofano, prolina e fenilalanina, que são importantes para a ligação da ACE (CHEUNG et al., 1980).

11. PROPRIEDADES ANTIBACTERIANAS

Os hidrolisados de peixe, como os derivados de anchova e cavala atlântica, demonstraram propriedades antibacterianas notáveis. Eles podem reduzir a presença de microrganismos prejudiciais como Staphylococcus aureus e Escherichia coli (ENNAAS et al., 2015; ENNAAS et al., 2016; SONG et al., 2012; WANG et al., 2018). O efeito antibacteriano é principalmente atribuído à capacidade desses hidrolisados de causar danos na membrana celular dos microrganismos, através de interações hidrofóbicas e eletrostáticas (GUILHEMELLI et al., 2013).

12. APLICAÇÕES DOS HIDROLISADOS DE PESCADOS

O uso de hidrolisados de peixe na alimentação animal tem sido estudado devido ao seu potencial para reduzir custos e otimizar a nutrição em rações, especialmente para peixes. A inclusão desses hidrolisados na dieta dos animais pode melhorar significativamente a digestão, a absorção e a eficiência na utilização dos nutrientes. Além disso, esses aditivos têm demonstrado um papel importante no fortalecimento do sistema imunológico dos animais, contribuindo para uma saúde mais robusta e resistente a doenças (GAO, et al 2021).

Adicionalmente, os hidrolisados de peixe são valorizados por suas propriedades funcionais quando utilizados como ingredientes e aditivos alimentares. Segundo Dekkers et al. (2011) e Halim et al. (2016), esses compostos podem melhorar a emulsificação, espumação e a capacidade de dispersão em alimentos, ampliando sua aplicação como ingredientes multifuncionais em alimentos processados. Outra aplicação relevante dos hidrolisados de peixe é no aumento da vida útil dos alimentos, graças às suas propriedades antioxidantes. Por exemplo, hidrolisados de proteína de tilápia mostraram eficácia na melhora da estabilidade e prolongamento da vida útil de pescado, ao inibir a oxidação lipídica (DEKKERS et al., 2011).

Com o crescente entendimento sobre o valor nutricional e os benefícios à saúde proporcionados pelos hidrolisados de peixe, há também um interesse crescente no uso de peptídeos bioativos derivados desses hidrolisados. Esses peptídeos possuem atividades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas, neuroprotetoras e antihipertensivas, o que amplia seu potencial de aplicação em alimentos funcionais, produtos farmacêuticos e cosméticos (SENEVIRATHNE e KIM, 2012).

13. CONCLUSÃO

Em conclusão, os hidrolisados proteicos de pescado representam uma alternativa promissora para o aproveitamento eficiente das proteínas de peixe, proporcionando não apenas um aumento no valor econômico dos recursos marinhos, mas também uma significativa redução do impacto ambiental causado pelo desperdício de pescado. Por meio da escolha cuidadosa das condições de processamento e das enzimas utilizadas, é possível produzir hidrolisados com propriedades funcionais que atendem a uma ampla gama de aplicações, que vão desde alimentos funcionais até produtos cosméticos e farmacêuticos.

Além disso, os hidrolisados obtidos a partir de resíduos de pesca possuem elevado valor nutricional e uma vasta gama de atividades biológicas, como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas, neuroprotetoras e anti-hipertensivas. Esses benefícios impulsionam sua aplicação em diversas áreas, agregando valor aos subprodutos da pesca e oferecendo contribuições significativas à saúde humana. Contudo, o uso de peptídeos bioativos ainda enfrenta desafios importantes, como a necessidade de desenvolver métodos de extração e purificação que sejam viáveis em escala industrial, além de solucionar questões relacionadas ao sabor e entender melhor a relação entre a estrutura e a função dos peptídeos.

Para superar esses desafios, são essenciais estudos adicionais, especialmente in vivo, que permitam confirmar a bioatividade e os efeitos terapêuticos desses compostos. Ao vencer essas barreiras, será possível maximizar o potencial dos hidrolisados proteicos de pescado e garantir sua eficácia em diversas aplicações industriais e de saúde.

REFERÊNCIAS

[1] AHN, CHANG-BUM; CHO, YOUNG-SOOK; JE, JAE-YOUNG. Purification and anti-inflammatory action of tripeptide from salmon pectoral fin byproduct protein hydrolysate. **Food Chemistry**, v. 168, p. 151-156, 2015.

[2] ALFIO, V. G.; MANZO, C.; MICILLO, R. From fish waste to value: an overview of the sustainable recovery of omega-3 for food supplements. **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 1002, 2021.

[3] AMORIM, R. G. O.; DESCHAMPS, F. C.; PESSATTI, M. L. Protein hydrolysate waste of whitemouth croaker (Micropogonias furnieri) as a way of adding value to fish and reducing the environmental liabilities of the fishing industry. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 44, n. 5, p. 967, 2016.

[4] ARRUDA, L. F. et al. Fish silage in black bass (Micropterus Salmoides) feed as an alternative to fish meal. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, p. 1261-1266, 2009.

[5] AZMI, NH.; ISMAIL, N.; IMAM, U.M.; ISMAIL, M. Ethyl acetate extract of germinated brown rice attenuates hydrogen peroxide-induced oxidative stress in human SH-SY5Y neuroblastoma cells: role of anti-apoptotic, pro-survival and antioxidant genes. **BMC complementary and alternative medicine**, v. 13, p. 1-11, 2013.

[6] BALANGE, A. K.; LAYANA, P., NAIDU, B. C. Harnessing value and sustainability: Fish waste valorization and the production of valuable byproducts. **Advances in food and nutrition research**, v. 107, p. 175-192, 2023.

[7] BALTI, R.; BOUGATEF, A.; SILA, A.; GUILLOCHON, D.; DHULSTER, P.; NEDJAR-ARROUME, N. Nine novel angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from cuttlefish (Sepia officinalis) muscle protein hydrolysates and antihypertensive effect of the potent active peptide in spontaneously hypertensive rats. **Food chemistry**, v. 170, p. 519-525, 2015.

[8] BARAIYA, R. et al. Potential of fish bioactive peptides for the prevention of global pandemic non-communicable disease: production, purification, identification, and health benefits. **Discover Food**, v. 4, n. 1, p. 34, 2024.

[9] BENÍTEZ, R.; IBARZ, A.; PAGAN, F. Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones Protein hydrolysates: processes and applications. **Acta bioquímica clínica latinoamericana**, v. 42, n. 2, p. 227-236, 2008.

[10] BERNARDI, D. M.; PARIS, L. D.; DIETERICH, F.; SILVA, F. G. D.; BOSCOLO, W. R.; SARY, C.; SIGNOR, A.; BERTOL, T. M.; SGARBIERI, V. C. Production of hydrolysate from processed Nile tilapia (Oreochromis niloticus) residues and assessment of its antioxidant activity. **Food Science and Technology (Campinas)**, n. AHEAD, p. 0-0, 2016.

[11] BIMBO, A. P.; CROWTHER, J. B. Fish meal and oil: Current uses. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 69, p. 221-227, 1992.

[12] **BORONAT, M.; PÉREZ-GONZÁLEZ, J.; SALVADOR, M.; BALLESTEROS, P.; GARCÍA-RAMÍREZ, P.** Advances in enzymatic hydrolysis of fish waste: optimization, industrial applications, and future perspectives. **Food and Bioproducts Processing**, v. 141, p. 57-72, 2023.

[13] BOUGATEF, A.; NEDJAR-ARROUME, N.; MANNI, L.; RAVALLEC, R.; BARKIA, A.; GUILLOCHON, D.; NASRI, M. Purification and identification of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of sardinelle (Sardinella aurita) by-products proteins. **Food Chemistry**, v. 118, n. 3, p. 559–565, 2010.

[14] BRASIL. Decreto n° 10. 468 de 18 de agosto de 2020. Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA. Diário Oficial da União. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial**. Brasília, DF. 2020

[15] CAI, L. et al. The neuroprotective and antioxidant activities of protein hydrolysates from grass carp (Ctenopharyngodon idella) skin. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 3750-3755, 2015.

[16] CARUSO, G.; FLORIS, R.; SERANGELI, C.; DI PAOLA, L. Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: Biomolecules sources, extraction methods and valorization. **Marine drugs**, v. 18, n. 12, p. 622, 2020.

[17] CHABEAUD, A.; DUTOURNIE, P.; GUERARD, F.; VANDANJON, L.; BOURSEAU, P. Application of response surface methodology to optimize the antioxidant activity of a Saithe (Pollachius virens) hydrolysate. **Marine Biotechnology**, v. 11, n. 4, p. 445–455, 2009.

[18] CHAI, H. J.; WU, C. J.; YANG, S. H.; LI, T. L; PAN, B. S. Peptides from hydrolysate of lantern fish (Benthosema pterotum) proved neuroprotective in vitro and in vivo. **Journal of Functional Foods**, v. 24, p. 438-449, 2016.

[19] CHEVRIER, G.; MITCHELL, P. L; RIOUX, L. E.; HASAN, F.; JIN, T.; ROBLET, C. R, MARETTE, A. Low-molecular-weight peptides from salmon protein prevent obesity-linked glucose intolerance, inflammation, and dyslipidemia in LDLR−/−/ApoB100/100 mice. **The Journal of nutrition**, v. 145, n. 7, p. 1415-1422, 2015.

[20] CHEUNG, H.S.; WANG, F.L.; ONDETTI, M.A.; SABO, E.F. D.W. Binding of peptide substrates and inhibitors of angiotensin-converting enzyme. Importance of the COOH-terminal dipeptide sequence. **Journal of Biological Chemistry**, 255 p. 401-407, 1980.

[21] CHI, C.F.; HU, F.Y.; WANG, B.; REN, X.J.; DENG, S.G.; WU, C.W. Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolyzate of croceine croaker (Pseudosciaena crocea) muscle. **Food Chemistry**, v. 168, p. 662-667, 2015.

[22] DEKKERS, E.; RAGHAVAN, S.; KRISTINSSON, H. G.; MARSHALL, M. R. **Oxidative stability of mahi mahi red muscle dipped in tilapia protein hydrolysates. Food Chemistry,** v. 124, n. 2, p. 640-645, 2011.

[23] DESAI, A. S. et al. Utilization of fish waste as a value-added ingredient: sources and bioactive properties of fish protein hydrolysate. In: **Sustainable Fish Production and Processing**. Academic Press, p. 203-225, 2022.

[24] ENNAAS, N.; HAMMAMI, R.; BEAULIEU, L.; FLISS, I. Purification and characterization of four antibacterial peptides from protamex hydrolysate of Atlantic mackerel (Scomber scombrus) by-products. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 462, n. 3, p. 195-200, 2015.

[25] ENNAAS, N.; HAMMAMI, R.; GOMAA, A.; BÉDARD, F.; BIRON, É.; SUBIRADE, M.; Fliss, I. Collagencin, an antibacterial peptide from fish collagen: Activity, structure and interaction dynamics with membrane. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 473, n. 2, p. 642-647, 2016.

[26] FAO. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024**. La transformación azul en acción. Roma. 2024.

[27] FAO. **The state of world fisheries and aquaculture 2020**. In INFORM (Issue 6). Sustainability in action. 2020.

[28] **FAO.** Energy and protein requirements. **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee, FAO Nutrition Meetings Report Series No. 52. Rome, Italy. 1973.

[29] FERNANDES, P. Enzymes in Fish and Seafood Processing. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 4, n. 59, p. 1-14, 2016.

[30] GAGNON, B.; BERROUARD, S. Effects of several organic fertilizers on growth of greenhouse tomato transplants. **Canadian journal of plant science**, v. 74, n. 1, p. 167-168, 1994.

[31] GAO, R.; SHU, W.; SHEN, Y.; SUN, Q.; BAI, F.; WANG, J.; YUAN, L. Sturgeon protein-derived peptides exert anti-inflammatory effects in LPS-stimulated RAW264. 7 macrophages via the MAPK pathway. **Journal of Functional Foods**, v. 72, p. 104044, 2020.

[32] GAO, R.; YU, Q.; SHEN, Y.; CHU, Q.; CHEN, G.; FEN, S.; SUN, Q. Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 687-699, 2021.

[33] GHRIBI, A. M.; GAFSI, I. M.; SILA, A.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BOUGATEF, A.; BESBES, S. Effects of enzymatic hydrolysis on conformational and functional properties of chickpea protein isolate. **Food chemistry**, v. 187, p. 322-330, 2015.

[34] GILMAN, E.; PEREZ RODA, A.; HUNTINGTON, T.; KENNELLY, S.J; SUURONEN, P.; CHALOUPKA, M.; MEDLEY, P. A. H. Benchmarking global fisheries discards. **Relatórios científicos**, v. 10, n. 1, p. 14017, 2020.

[35] GIRGIH, A. T.; HE, R.; HASAN, F. M.; UDENIGWE, C. C.; GILL, T. A.; ALUKO, R. E. Evaluation of the in vitro antioxidant properties of a cod (Gadus morhua) protein hydrolysate and peptide fractions. **Food chemistry**, v. 173, p. 652-659, 2015.

[36] GUERARD, F.; DECOURCELLE, N.; SABOURIN, C.; FLOCH-LAIZET, C.; LE GREL, L.; LE FLOCH, P.; GOURLAY, F.; LE DELEZIR, R.; JAOUEN, P.; BOURSEAU, P. Recent developments of marine ingredients for food and nutraceutical applications: a review. **Journal des sciences Halieutique et Aquatique**, v. 2, p. 21-27, 2010.

[37] GUILHELMELLI, F.; VILELA, N.; ALBUQUERQUE, P.; DERENGOWSKI, L. D. S.; SILVA-PEREIRA, I.; KYAW, C. M. **Antibiotic development challenges: the various mechanisms of action of antimicrobial peptides and of bacterial resistance. Frontiers in Microbiology**, v. 4, p. 353, 2013.

[38] HALIM, N. R. A.; YUSOF, H. M.; SARBON, N. M. Functional and bioactive properties of fish protein hydolysates and peptides: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 51, p. 24-33, 2016.

[39] HARYATI, S. et al. Characterization of functional properties catfish protein isolates (Clarias sp.). In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, p. 012031. 2020.

[40] HIMAYA, S. W. A.; NGO, D. H.; RYU, B.; KIM, S. K. An active peptide purified from gastrointestinal enzyme hydrolysate of Pacific cod skin gelatin attenuates angiotensin-1 converting enzyme (ACE) activity and cellular oxidative stress. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1872-1882, 2012.

[41] HOOPER, L. V.; LITTMAN, D. R.; MACPHERSON, A. J. Interactions between the microbiota and the immune system. **Science,** v. 336, n. 6086, p. 1268-1273, 2012.

[42] ISLAM, J. et al. Fish waste management: Assessment on potential production and utilization of fish silage in Bangladesh, Philippines and Thailand. **Food & Agriculture** Org., 2021.

[43] JENSEN, I. J.; EYSTURSKARÐ, J.; MADETOJA, M.; EILERTSEN, K. E. The potential of cod hydrolyzate to inhibit blood pressure in spontaneously hypertensive rats. **Nutrition Research**, 34(2), 168-173, 2014.

[44] JUN, S.; PARK, P.; JUNG, W.; KIM, S. Purification and characterization of an antioxidative peptide from enzymatic hydrolysate of yellowfin sole (Limanda aspera) frame protein. **European Food Research and Technology**, v. 219, n. 1. p. 20–26, 2004.

[45] KALBANI, F. O. S. A. et al. Effect of some organic fertilizers on growth, yield and quality of tomato (Solanum lycopersicum). **International Letters of Natural Sciences**, v. 53, 2016.

[46] KARAMAĆ, M.; KOSIŃSKA-CAGNAZZO, A.; KULCZYK, A. Use of Different Proteases to Obtain Flaxseed Protein Hydrolysates with Antioxidant Activity. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 7, p. 1027, 2016.

[47] KIM, Y. M.; KIM, I. H.; CHOI, J. W.; LEE, M. K.; NAM, T. J. The anti-obesity effects of a tuna peptide on 3T3-L1 adipocytes are mediated by the inhibition of the expression of lipogenic and adipogenic genes and by the activation of the Wnt/β-catenin signaling pathway. **International journal of molecular medicine**, v. 36, n. 2, p. 327-334, 2015a.

[48] KIM, Y. M. et al. Peptide derived from desalinated boiled tuna extract inhibits adipogenesis through the downregulation of C/EBP-α and PPAR-γ in 3T3-L1 adipocytes. **International Journal of Molecular Medicine**, v. 35, n. 5, p. 1362-1368, 2015b.

[49] KRISTINSSON, H. G.; RASCO, B. A. Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 40, n. 1, p. 43-81, 2000.

[50] LEE, E. J. et al. Fish collagen peptide inhibits the adipogenic differentiation of preadipocytes and ameliorates obesity in high fat diet-fed mice. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 281-286, 2017.

[51] LI, Y.; SADIQ, F. A.; FU, L.; ZHU, H.; ZHONG, M.; SOHAIL, M. Identification of Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitory Peptides Derived from Enzymatic Hydrolysates of Razor Clam Sinonovacula constricta. **Marine drugs**, v. 14, n. 6, p. 110, 2016.

[52] LIMA, M. M. et al. Whitemouth croaker (Micropogonias furnieri) protein hydrolysates: chemical composition, molecular mass distribution, antioxidant activity and amino acid profile. **International Food Research Journal**, v. 26, n. 1, 2019.

[53] LIRA, T. B. F. Avaliação das variaveis que influenciam o grau de hidrolise enzimática da caseina do leite de cabra (Capra hircus Linnaeus, 1758) Moxotó. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2010.

[54] NAKAJIMA, K.; YOSHIE-STARK, Y.; OGUSHI, M. Comparison of ACE inhibitory and DPPH radical scavenging activities of fish muscle hydrolysates. **Food Chemistry**, v. 114, n. 3, p. 844–851, 2009.

[55] NAQVI, N. et al. Molecular basis of exopeptidase activity in the C-terminal domain of human angiotensin I-converting enzyme: insights into the origins of its exopeptidase activity. **Journal of Biological Chemistry**, v. 280, n. 8, p. 6669-6675, 2005.

[56] NAWAZ, A. et al. Valorization of fisheries by-products: Challenges and technical concerns to food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 34-43, 2020.

[57] NGO, DAI-HUNG.; RYU, B.; KIM, SE-KWON. Active peptides from skate (Okamejei kenojei) skin gelatin diminish angiotensin-I converting enzyme activity and intracellular free radical-mediated oxidation. **Food Chemistry**, v. 143, p. 246-255, 2014.

[58] NILSANG S.; LERTSIRI S.; SUPHANTHARIKA M. Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Fish Soluble Concentrate by Commercial Proteases. **Journal of Food Engineering**. v. 70, n. 4, p. 571-578, 2005.

[59] NIRMAL, N. P. et al. Valorization of fish byproducts: sources to end-product applications of bioactive protein hydrolysate. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 21, n. 2, p. 1803-1842, 2022.

[60] OLIVEIRA, V. S. et al. Impact of air frying on food lipids: Oxidative evidence, current research, and insights into domestic mitigation by natural antioxidants. **Trends in Food Science & Technology**, p. 104465, 2024.

[61] OZOGUL, F. et al. Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. Trends in Food Science & Technology, v. 116, p. 559-582, 2021.

[62] PETRICORENA, Z. C. Chemical composition of fish and fishery products. **Handbook of food chemistry**, v. 1, p. 28, 2015.

[63] PHADKE, G. G. et al. Exploiting of secondary raw materials from fish processing industry as a source of bioactive peptide-rich protein hydrolysates. **Marine drugs**, v. 19, n. 9, p. 480, 2021.

[64] POWNALL, T. L.; UDENIGWE, C. C.; ALUKO, R. E. Amino acid composition and antioxidant properties of pea seed (Pisum sativum L.) enzymatic protein hydrolysate fractions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 8, p. 4712-4718, 2010.

[65] PUJA, N. et al. Technologies for management of fish waste & value addition. **Food and Humanity,** p. 100228, 2024.

[66] RAMKUMAR, A.; SIVAKUMAR, N.; VICTOR, R. Fish waste-potential low cost substrate for bacterial protease production: A brief review. **The Open Biotechnology Journal**, v. 10, n. 1, 2016.

[67] RATHOD, N. B. et al. Incorporation of fish and fishery waste into food formulations: A review with current knowledge. **Trends in Food Science & Technology**, p. 104517, 2024.

[68] SÁNCHEZ, A.; VÁZQUEZ, A. Bioactive peptides: A review. **Food quality and safety**, v. 1, n. 1, p. 29-46, 2017.

[69] SENEVIRATHNE, M.; KIM, S. K. Desenvolvimento de peptídeos bioativos a partir de proteínas de peixe e sua capacidade de promover a saúde. **Advances in food and nutrition research** , v. 65, p. 235-248, 2012.

[70] SINGH, S. et al. Sustainable processes for treatment and management of seafood solid waste. **Science of The Total Environment**, v. 817, p. 152951, 2022.

[71] SLIZYTE, R.; ROMMI, K.; MOZURAITYTE, R.; ECK, P.; FIVE, K.; RUSTAD, T. Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones. **Biotechnology Reports**, v. 11, p. 99-109, 2016.

[72] SONG, R. et al. Isolation and identification of an antiproliferative peptide derived from heated products of peptic hydrolysates of half-fin anchovy (Setipinna taty). **Journal of Functional Foods**, v. 10, p. 104-111, 2014.

[73] SONG, R.; WEI, R. B.; LUO, H. Y.; WANG, D. F. Isolation and characterization of an antibacterial peptide fraction from the pepsin hydrolysate of half-fin anchovy (Setipinna taty). **Molecules,** 17(3), 2980-2991, 2012.

[74] SONG, R. et al. Antioxidant and antiproliferative activities of heated sterilized pepsin hydrolysate derived from half-fin anchovy (Setipinna taty). **Marine drugs**, v. 9, n. 6, p. 1142-1156, 2011.

[75] SUBHAN, F. et al. Fish scale collagen peptides protect against CoCl2/TNF-α-induced cytotoxicity and inflammation via inhibition of ROS, MAPK, and NF-κB pathways in HaCaT cells. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2017, n. 1, p. 9703609, 2017.

[76] THIRUKUMARAN, R. et al. Resource recovery from fish waste: Prospects and the usage of intensified extraction technologies. **Chemosphere**, v. 299, p. 134361, 2022.

[77] VIK, R.; TILLANDER, V.; SKORVE, J.; VIHERVAARA, T.; EKROOS, K.; ALEXSON, S.E; BJØRNDAL, B. Three differently generated salmon protein hydrolysates reveal opposite effects on hepatic lipid metabolism in mice fed a high-fat diet. **Food chemistry**, v. 183, p. 101-110, 2015.

[78] WANG, L.; JIANG, Y.; WANG, X.; ZHOU, J.; CUI, H.; XU, W.; GAO, R. Effect of oral administration of collagen hydrolysates from Nile tilapia on the chronologically aged skin. **Journal of Functional Foods,** 2018.

[79] WANG, G. et al. Edaravone alleviates hypoxia-acidosis/reoxygenation-induced neuronal injury by activating ERK1/2. **Neuroscience letters**, v. 543, p. 72-77, 2013.

[80] WU, H.; CHEN, H.; SHIAU, C. Free amino acids and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of Mackerel (Scomber austriasicus). **Food Research International**, v. 36, n. 9, p. 949–957, 2003.

[81] XIMENES, L. F.; VIDAL, M. F. Pesca e Aquicultura: Piscicultura. Fortaleza: **BNB, Caderno Setorial Etene**, v. 8, n. 272, 2023.

[82] YANG, J.I.; TANG, J.Y.; LIU, Y.S.; WANG, H.R.; LEE, S.Y.; YEN, C.Y.; CHANG, H.W. Roe protein hydrolysates of giant grouper (Epinephelus lanceolatus) inhibit cell proliferation of oral cancer cells involving apoptosis and oxidative stress. **BioMed Research International**, v. 2016, n. 1, p. 8305073, 2016.

[83] YOU, L.; ZHAO, M.; REGENSTEIN, J. M.; REN, J. Purification and identification of antioxidative peptides from loach (Misgurnus anguillicaudatus) proteinhydrolysate by consecutive chromatography and electrospray ionization-mass spectrometry. **Food Research International**, v. 43, n. 4, p. 1167-1173, 2010.

CAPÍTULO

08

Conservação de maçã minimamente processada através de filmes e revestimentos comestíveis à base de amido do babaçu

Zilda Doratiotto de Salles Arevalo, Abigail Lima de Oliveira, Domynique Batista Barbosa, Fábio Salles de Arévalo

1. INTRODUÇÃO

Uma tendência crescente na atualidade são as frutas e hortaliças Minimamente Processados (MP), visando obter produtos frescos e convenientes. Frutas e hortaliças minimamente processadas são vegetais que passaram por alterações físicas e, isto inclui as operações de seleção, lavagem, sanitização, descascamento, corte, centrifugação, embalagem, armazenamento e comercialização, mas mantidos no estado fresco e metabolicamente ativos e que cada vez mais têm ocupado espaço nas gôndolas de supermercados e de lojas de conveniência de diversos países (MORETTI, 2007). Uma fruta ou hortaliça ao sofrer processo de corte ou descascamento irá sofrer uma redução de sua vida útil e, para evitar esse efeito são aplicadas técnicas apropriadas para prolongar sua vida útil.

Existem na literatura vários métodos para aumentar a vida útil de frutas e hortaliças minimamente processadas, como a refrigeração, branqueamento, armazenamento em atmosfera modificada, solução conservadora e uso de coberturas comestíveis (FONTES et al., 2008; PIZATO et al., 2013). Dentre estes métodos o uso de coberturas comestíveis tem sido preconizado como uma tecnologia emergente e de grande potencial, devido à facilidade de aplicação e baixo custo. Coberturas comestíveis são definidas como uma fina camada de material comestível, depositada em um alimento como revestimento. Sua finalidade é inibir ou reduzir a migração de umidade, de oxigênio, de dióxido de carbono e de aromas, pois promovem barreiras semipermeáveis, protegendo o produto de danos físicos e fisiológicos e aumentando a vida útil (ASSIS e BRITTO, 2014; SANTOS et al., 2012). As coberturas podem ser elaboradas de diferentes materiais como amido, celulose, quitina, goma xantana, goma guar, pectina, carboximetilcelulose, quitosana além de alginato (BIERHALS, CHIUMARELLI e HUBINGER, 2011; AZARAKHSH et al., 2012; CASTRICINI, CONEGLIAN e DELIZA, 2012; ARAÚJO e SHIRAI, 2016) . Estes materiais hidrofílicos normalmente apresentam boa solubilidade em meio aquoso, favorecendo uma melhor dispersão do soluto e uma formação mais homogênea do filme. Dependendo da estrutura química, podem formar géis ou até mesmo requerer alterações químicas para uma completa solubilização (ASSIS et al., 2014).

O babaçu é uma palmeira que cresce naturalmente nas regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil, sendo que as potencialidades do babaçu são inúmeras, da geração de energia ao artesanato, diversas atividades econômicas podem ser desenvolvidas a partir da planta. De todas as partes da planta, o fruto (coco) é o que apresenta o maior potencial econômico, chegando a produzir mais de 64 subprodutos (SANTOS, 2008). O coco de babaçu é composto em 15% pelo epicarpo, que é a camada externa do fruto, 58%

pelo endocarpo (camada interna), onde encontra-se as amêndoas, e 20% pelo mesocarpo, que é composto por 60% de amido (PORTO, 2004). Atualmente a farinha do mesocarpo de babaçu é utilizada pela população das regiões produtoras como alimento e como medicamento (SILVA, 2011) e na produção de biofilmes para conservação de alimentos (ARÉVALO-PINEDO et al, 2018). E o amido extraído do mesocarpo apresenta boas características para ser revestimento além de ser de baixo custo quando comparadas com ceras comerciais e ainda proporcionam brilho intenso ao ser aplicado no alimento (MANIGLIA, LUCAS e TAPIA-BLÁCIDO , 2014).

A maçã é uma fruta muito cultivada, consumida e comercializada em todo mundo, devido à sua disponibilidade ao longo de todos os meses. Constitui importante parte da dieta humana sendo fonte de açucares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos (ANSARI et al. 2017). De acordo com Rizzon, Bernardi e Miele (2005) os parâmetros como acidez , pH e sólidos solúveis são muito importantes na avaliação da qualidade de maçãs, tanto sensorial, quanto comercialmente, na estocagem da fruta. Na composição da maçã segundo Pizato *et al.,* 2013, o conteúdo de matéria seca para a maçã Gala é em média de 17,24%, os sólidos solúveis de 14 Brix , pH de 3,8, o conteúdo de açúcares totais 13,2 g/100g. Além disso a maçã é rica em vitaminas B1, B2, niacina e sais minerais como fósforo e ferro, além de ser uma boa fonte de fibras por conter pectina.

Na maçã minimamente processada devido ao corte e descascamento ocorre a liberação e contato de compostos fenólicos e enzimas (peroxidase e polifenoloxidase) , assim escurecendo a fruta e diminuindo sua vida útil. Assim uma alternativa para aumentar a vida útil da maçã minimamente processada seria a aplicação de cobertura comestível de amido de mesocarpo babaçu, com ou sem adição de aditivos químicos. O uso de coberturas comestíveis (carragena, proteína concentrada de trigo) em combinação com agentes antioxidantes (ácido ascórbico, ácido cítrico e ácido oxálico) foi eficiente para prolongar a vida útil em maçãs minimamente por duas semanas quando armazenadas a 3 °C (LEE et al., 2003).

Esse trabalho teve por objetivo avaliar a influência da aplicação de filme comestível de amido de babaçu no aumento da vida de prateleira em maçãs minimamente processadas, através da avaliação dos parâmetros de propriedades físico-químicas as durante o seu armazenamento sob refrigeração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

a) Preparo das maçãs minimamente processadas

Foram utilizadas maçãs adquiridas no mercado local da cidade de Palmas Tocantins. As maçãs foram escolhidas com boa uniformidade de formato, diâmetro e cor característico vermelho intenso.

O coco de babaçu usado tem como origem a região sudeste do estado do Tocantins, foram coletados frutos maduros caídos em boas condições . Assim, foi feita uma seleção desses frutos, em seguida foram lavados com ajuda de uma escova, e deixados secar em estufa por 48 horas. O sorbato de potássio e outros reagentes foram adquiridos com fornecedor especializado.

Para obter o amido do mesocarpo, retirou-se manualmente o epicarpo do fruto, utilizando uma faca, deixando o mesocarpo exposto, o qual foi extraído utilizando facas de aço inox. O mesocarpo foi triturado em moinho de facas tipo willye, até obtenção de

pó muito fino. Após, a farinha assim obtida passou por processo de extração do amido, conforme metodologia de ARÉVALO-PINEDO et al (2018). A farinha foi então diluída em uma solução com água e hidróxido de sódio 0,1% na proporção 1: 20 partes e, esta foi passada em peneiras de 0,149 e 0,044 mm, com sucessivas lavagens com água corrente para separação do amido e posterior decantação deste em bacias plásticas. A secagem do amido foi feito em estufa a 40ºC.

As maçãs selecionadas foram primeiramente lavadas, sanitizadas por imersão em água clorada contendo 150 ppm (mg/L) de cloro ativo por litro de água e na temperatura de 5 °C, durante 7 minutos.

Em seguida, as maçãs foram enxaguadas com água potável limpa. Após, elas foram descascadas e cortadas manualmente em cubos de aproximadamente 2 x 2 cm com auxílio de facas de aço inoxidável (RODRIGUES et al., 2011).

Para a montagem do experimento, foram escolhidos 3 tratamentos mais o controle com a finalidade de estudar a conservação de maçã minimamente processada durante seu período de armazenamento. As amostras foram submetidas aos seguintes tratamentos:

T1- Controle, as amostras de maçã não sofreram nenhum tipo de tratamento

T2- Aplicação de solução de amido de mesocarpo babaçu 3%

T3 - Aplicação de solução de ácido cítrico 1% ;

T4 - Aplicação de solução de ácido cítrico 1% e, após cobertura de 3% de amido.

As soluções de cobertura foram preparadas da seguinte forma : T2- Aplicação de solução de 3% de amido de mesocarpo babaçu em água, aquecida a temperatura de 70 °C , sob agitação constante, durante 10 minutos e posteriormente resfriada a temperatura ambiente. T3- solução de ácido cítrico diluído a 1% ; T4-solução de ácido cítrico 1% e, após cobertura com solução 3% de amido.

As amostras de maçã cortadas foram imersas nessas soluções de cobertura por 2 minutos para formação da cobertura de superfície nas amostras e em seguida foram drenadas do excesso em uma peneira. Após, as maçãs assim tratadas foram para secagem da superfície com auxílio de um ventilador.

Por fim as amostras foram acondicionados em bandejas (12 x 12 cm) de isopor, envoltas em filme de PVC. Em cada bandeja foram acondicionados 6 pedaços de maçã MP (peso médio 100 g/bandeja) e armazenadas sob refrigeração a 5^0 C.

b) Acompanhamento das maçãs minimamente processadas com cobertura

As amostras acondicionadas em bandejas de poliestireno expandido (isopor) não tóxico, envoltas em filmes de PVC (21,3 µm de espessura) foram avaliadas aos 1, 5, 9, 13 e 17 dias de armazenamento. Durante estes períodos foram realizadas análises físico-químicas.

As análises físico-químicas de perda de massa, conteúdo de umidade, sólidos solúveis, pH, acidez total titulável foram realizadas de acordo com as normas do IAL (1985).

A análise estatística foi realizada utilizando o delineamento experimental inteiramente ao acaso em esquema fatorial 4 x 5, sendo 4 tratamentos e 5 períodos de

avaliação (1, 5, 9, 13 e 17) dias de armazenamento refrigerado. Nas análises físico-químicas realizadas, foram utilizadas 3 repetições em cada tratamento. Os resultados obtidos das avaliações físicas e físico-químicas foram submetidos à análise de variância pelo Teste F, comparação de médias pelo Teste de Tukey (5%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados das análises de pH, acidez e sólidos solúveis (°Brix) das amostras de maçã revestidas com filmes durante o armazenamento.

Na tabela 1 são apresentados os valores médios de pH, durante os 17 dias de armazenamento. Esses valores ficaram abaixo de 4. Observa-se que o pH manteve-se quase inalterado, observando-se um leve aumento significativo no 17^0 dia em todos os tratamentos. Não houve diferença significativa entre os tratamentos; também nos tempos 1^0, 5^0, 9^0, 13^0 e 17^0 dias de armazenamento.

Tabela 1. Valores médios de pH das amostras de maçã

Amostra	Armazenamento (dias)				
	1	5	9	13	17
T1	3.48^{Aa}	3.45^{Aa}	3.29^{Ba}	3.71^{Ca}	3.88^{Da}
T2	3.68^{Ab}	3.83^{Bab}	3.08^{Cab}	3.74^{Aa}	4.04^{Db}
T3	3.59^{Aab}	3.69^{Abc}	3.17^{Bab}	3.70^{Aa}	3.93^{Cab}
T4	3.42^{Aac}	3.67^{Bc}	3.17^{Cb}	3.71^{Ba}	3.76^{Bac}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (P<0,05). (T1) controle; (T2) amido 3%; (T3) ácido cítrico 1%; (T4) ácido cítrico 1%, amido 3%.

Na tabela 2 são apresentados os valores médios de acidez durante os 17 dias de armazenamento. Os valores de acidez total titulável da maçã , variaram de 0,12 a 0,33%. Não houve diferença entre os tratamentos em todos os tempos estudados. A partir do 9^0 dia esses valores para todos os tratamentos diminuem com o passar dos dias até o 17^0 dia.

Tabela 2. Valores médios de acidez total titulável (%) das amostras de maçã

Amostra	Armazenamento (dias)				
	1	5	9	13	17
T1	$0,24\ 27^{Aa}$	$0,2333^{Aa}$	$0,1898^{Ba}$	$0,1790^{BCa}$	$0,1703^{Ca}$
T2	$0,2454^{Aa}$	$0,2467^{Aa}$	$0,1106^{Bb}$	$0,1656^{Ca}$	$0,1589^{Ca}$
T3	$0,2058^{ABCa}$	$0,3205^{Ab}$	$0,1455^{Bab}$	$0,1267^{Ca}$	$0,1482^{Ba}$
T4	$0,3265^{Ac}$	$0,3352^{Ab}$	$0,1455^{Bab}$	$0,1395^{Ba}$	$0,1924^{Ca}$

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (P<0,05). (T1) controle; (T2) amido3%; (T3) ácido cítrico 1%; (T4) ácido cítrico 1%, amido 3%.

Então, para todos os tratamentos estudados observa-se que a acidez total titulável diminuiu com o passar dos dias de armazenamento. Resultados semelhantes foram verificados por Moreno (2013) ao se analisar a influência do fator período de armazenamento das maçãs pré-processadas e dos tratamentos utilizados, que a acidez total titulável diminuiu na medida em que é prolongado o período de armazenamento dos frutos. Esta perda dos ácidos orgânicos ocorre com os processos metabólicos da

maturação e senescência dos frutos em decorrência do seu uso como substrato no processo respiratório ou de sua conversão em açucares (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Tabela 3. Valores médios de sólidos solúveis (°Brix) das amostras de maçã

Amostra	Armazenamento (dias)				
	1	5	9	13	17
T1	12.75^{Aa}	14.73^{Ba}	11.33^{Ca}	10.50^{Da}	14.00^{Ea}
T2	10.17^{ABb}	10.03^{Ab}	10.00^{Ab}	10.33^{Ba}	11.23^{Cb}
T3	10.67^{ABbc}	11.37^{Ac}	11.00^{Aac}	10.00^{Ba}	11.43^{Ab}
T4	11.25^{Ac}	11.30^{Bc}	11.50^{Bac}	9.00^{Cb}	11.37^{Bb}

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (P<0,05). (T1) controle; (T2) amido 3%; (T3) ácido cítrico 1%; (T4) ácido cítrico 1%, 3% de amido.

A Tabela 3 apresenta os valores médios das análises de sólidos solúveis na maçã controle e com seus tratamentos. São observados que os valores do teor de sólidos solúveis encontrados na maçã controle foram diferentes estatisticamente nos tratamentos realizados no 1^0, 5^0 e 17^0 dias. Também foram os maiores valores encontrados para essa variável.

A tendência de aumento observado nos sólidos solúveis em todos os tratamentos até o 17º dia pode estar relacionado ao acúmulo de açúcares em consequência da perda de massa observada nesta pesquisa.

Também observa-se que nos tratamentos T2 (Solução de 3% de amido de mesocarpo babaçu), T3 (Solução ácido cítrico 1%) e T4 (Solução de ácido cítrico 1% + solução de 3% de amido de babaçu) os valores de sólidos solúveis foram menores que o controle durante os 1^0, 5^0 e 17^0 dias.

A maior aumento de sólidos solúveis (9,8%) no 17º dia foi na maçã controle , e esta análise está coerente pois houve maior perda de massa na maçã controle; então pelo balanço da composição química, a concentração dos açucares aumentou com a perda de água.

Fontes et al, (2008), que estudando o efeito de películas comestíveis (dextrina 5,5%, fécula de mandioca 3% e alginato de sódio 2%) na conservação de maçãs Gala MP durante armazenamento refrigerado por 13 dias, relatou que a maior concentração de sólidos solúveis foi apresentada pelo controle e alginato. Os tratamentos com fécula de mandioca e dextrina resultaram em maçãs com menores teores de sólidos solúveis durante todo o período avaliado. Isso explicaria no caso desta pesquisa também que, a imersão das maçãs MP nestes tipos de solução filmogênicas poderia estar lixiviando (lavagem) os sólidos solúveis da maçã.

Tabela 4: Valores médios do peso e perda de peso médio (%) das amostras de maçã

Amostra	Armazenamento (dias)					Perda de peso final (%)
	1	5	9	13	17	
T1	50,2574^{Aa}	49,4568^{Ba}	48,34^{Ca}	45,523^{Da}	43,6644^{Eab}	13,12
T2	50,2674^{Aa}	49,2178^{Ba}	47,8569^{Ca}	45,5303^{Da}	43,4578^{Eab}	13,5
T3	48,2544^{Aa}	46,9044^{Ba}	45,4637^{Ca}	43,655^{Da}	41,9760^{Ea}	13
T4	51,2798^{Aa}	50,3521^{Ba}	49,6217^{Ca}	47,996^{Da}	46,4855^{Eb}	9,35

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (P<0,05). (T1) controle; (T2) amido 3%; (T3) ácido cítrico 1%; (T4) ácido cítrico 1%, 3% de amido.

Na Tabela 4 estão os valores médios de peso e % de perda das amostras de maçã. Nesta tabela podemos observar que houve perda de massa durante o período de armazenamento em todos os tratamentos estudados. A perda de massa desde o início até o 18^0 dia foi de 13,2% para amostra controle; de 13,5% para a amostra com aplicação de cobertura de 3 de amido; de 13,0% para a amostra com aplicação de solução de ácido cítrico 1% e, de 9,35% para a amostra com aplicação de solução de ácido mais solução de amido 3%. Observa-se uma menor perda de massa (de 9,35%) para a maçã com aplicação de solução de ácido 1% mais solução de amido 3% durante o período de armazenamento.

As perdas de peso são menores se considerarmos 13 dia de armazenamento, o que é um tempo razoável para os vegetais minimamente processados não perderem qualidade. Neste período, observou-se perdas de peso ao redor de 9,5% nos tratamentos T1, T2, T3. No tratamento T4, observou-se a menor perda de peso (6,4%). Então o tratamento T4 foi o mais eficiente para a conservação de massa da maçã nesses períodos de armazenamento.

Fontes, et al (2012), avaliaram o efeito de películas comestíveis na conservação de maçãs Minimamente Processadas (MP) durante armazenamento refrigerado por 13 dias. Os tratamentos com dextrina, amido de mandioca e alginato de sódio apresentaram redução na perda de massa em menos de 1%. No trabalho de Pizato et al (2013), usando o alginato de sódio como revestimento, a perda de massa nas amostras de maçã, foi de (5,8%) em 15 dias de armazenamento.

4. CONCLUSÃO

O tratamentos com aplicação de soluções ácido cítrico 1% e amido de mesocarpo de babaçu 3% foi o mais eficiente , resultando em uma menor perda de massa pela maçã em relação ao controle e outros tratamentos durante os dias de armazenamento. Observa-se que o pH manteve-se quase inalterado, nos tratamentos e durante os dias de armazenamento. A acidez total titulável diminuiu em decorrência de processo natural metabólico da maturação nos frutos, durante os dias de armazenamento. As soluções usadas na cobertura tiveram efeito de diminuir o teor de sólidos solúveis da maçã.

REFERÊNCIAS

[1] ANSARI, R.; KHAN, Z. H.; KHAN, N. D.; RUMAISA ANSARI, C.; MULAR, S. Extraction and characterization of polyphenol oxidase from pulp of apple fruit. **International Journal of Applied Research,** 3(1), p. 569–572, 2017.

[2] ARAÚJO, V. R.; SHIRAI, M. A. Aplicação de revestimentos comestíveis de quitosana em brócolis minimamente processado. **BOLETIM DO CEPPA**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 1-9, 2016.

[3] ARÉVALO-PINEDO, A; FARIA, A. M; ARÉVALO, Z. D. S; ARÉVALO, F. S. **Conservação de jiló por uso de cobertura comestível de amido do mesocarpo de babaçu**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 55, 2018, Bonito – MS. **Anais do 55 CBO**. Bonito – MS: Associação Brasileira de Horticultura, 2018. 1 CD-ROM.

[4] ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Braz. J. Food Technol** Campinas, v. 17, n. 2, p. 87-97, abr./jun. 2014.

[5] AZARAKHSH, N.; OSMAN,A.; GHAZALI, H. M.; TAN, C. P.; MOHD-ADZAHAN, N. Optimization of alginate and gellan based edible coating formulations for fresh-cut pineapples. **INTERNATIONAL FOOD RESEARCH JOURNAL**, Selangor, v. 19, n. 1, p. 279-285, 2012.

[6] BIERHALS, V. S.; CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (Ananas comosus L. Merril cv "Pérola"). **JOURNAL OF FOOD SCIENCE**, Chicago, v. 76, n. 1, p. 62-72, 2011.

[7] CASTRICINI, A.; CONEGLIAN, R. C. C.; DELIZA. R. Starch edible coating of papaya: effect on sensory characteristics. **CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS ALIMENTOS**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 84-92, 2012.

[8] CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manejo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

[9] FONTES, L. B. C; SARMENTO, S. B. S; SPOTO, M. H. F; DIAS, C. T. S. Conservação de maçã minimamente processada com o uso de películas comestíveis. **CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS,** Campinas, v. 28, n. 4, p. 872-880, 2012.

[10] INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3.ed. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 1985. v.1, 533p.

[11] LEE, J. Y.; PARK, H. J.; LEE, C. Y.; CHOI, W. Y. Extending shelf life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. **Lebensmittel Wissenchaft und Technology**, v. 36, p. 323-329, 2003.

[12] MANIGLIA, B. C.; LUCAS, A. de A.; TAPIA-BLÁCIDO, D. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILMES DO RESÍDUO DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE BABAÇU. **CIBIA,** p. 105, 2014.

[13] MORENO, M. B. **Caracterização da qualidade de maçãs, cv. fuji, minimamente processadas, tratadas com aditivos.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência. Pelotas, 2013.

[14] MORETTI, C. L. Processamento mínimo de minicenouras. In: _____. **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa/ SEBRAE, 2007. p. 397-413.

[15] PIZATO, S.; CORTEZ-VEGA, R.; PRENTICE-HERNANDEZ, C.; BORGES, C. D. Efeito da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação de maçãs 'Royal Gala' minimamente processadas. **SEMINA: CIÊNCIAS AGRÁRIAS**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 253-264, 2013.

[16] PORTO, M. J. F. **Estudo Preliminar de Dispositivo de Quebra e Caracterização dos Parâmetros Físicos do Coco Babaçu.** Tese de Mestrado apresentada na Faculdade de Engenharia Mecânica UNICAMP, Campinas, 2004.

[17] PRATES, M. F. O. ; ASCHERI, D. P. R. Efeito da cobertura de amido de fruta-de-lobo e sorbitol e do tempo de armazenamento na conservação pós-colheita de frutos de morango. **BOLETIM DO CENTRO DE PESQUISA DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS**, v.29, n.1, 2011.

[18] RIZZON, L. A.; BERNARDI, J.; MIELE, A. Características analíticas dos sucos de maçã Gala, Golden Delicious e Fuji. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p.750-756, out./dez. 2005.

[19] RODRIGUES, D. G., DA SILVA, N.B.M., REZENDE, C., JACOBUCCI, H.B., FONTANA, E.A. Avaliação de dois métodos de higienização alimentar. **Saúde e Pesquisa**., v.4, n.3, 2011.

[20] SANTOS, N. A. **Propriedades termo-oxidativas e de fluxo de Biodiesel de Babaçu** – Orbignya Phalerata. João Pessoa, Programa de Pós-graduação em Quimica, UFPB, 2008. Dissertação de mestrado, 159p.

[21] SANTOS, N. S. T; AGUIAR, A. J. A. A; OLIVEIRA, C. E.V; SALES, C. V; SILVA, S. M; SILVA, R. S. STAMFORD, T. C. M; SOUZA, E. L. Efficacy of the application of a coating composed of chitosan and Origanum vulgare L. essential oil to control Rhizopus stolonifer and Aspergillus niger in grapes (Vitis labrusca L.). **FOOD MICROBIOLOGY** 32 (2012) 345 e 353.

[22] SILVA, A. P. S. **Caracterização físico-química e toxicológica do pó de mesocarpo do babaçu (Orbignya phalerata Mart): subsidio para o desenvolvimento de produtos**. 2011. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ, Teresina.

[23] VERZELETTI, A.; FONTANA, R. C.; SANDRI, I. G. Avaliação da vida de prateleira de **cenouras** minimamente processadas**. ALIMENTOS E NUTRIÇÃO, Araraquara,** v. 21, n. 1, p. 87-92, 2010.

CAPÍTULO

09

Principais metodologias utilizadas para analisar o perfil de compostos fenólicos em suco de fruta: uma revisão sistemática

Jucimara Silva, Elisangela Santos Reis de Oliveira, Emerson Adriano Guarda, Maria Luciana Barbosa Mendes, Yuri Vinicius da Silva, Alice Reis Figueiredo, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Patrícia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

Com a melhoria dos padrões de vida, os consumidores estão mais preocupados com a frescura, a originalidade, propriedades físico-químicas e os valores nutricionais dos produtos alimentares, incluindo os sucos de fruta (YANG *et al*., 2022). As frutas e seus sucos são ricas fontes de compostos fenólicos (BERGER *et al*., 2020). Os compostos fenólicos estão entre as classes mais abundantes e amplamente distribuídas de metabólitos secundários de plantas e, portanto, são um componente importante para a dieta (MALEŠ *et al*., 2023). Compostos fenólicos são compostos de ocorrência natural, que devido à sua complexidade estrutural, são classificados em ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos, cumarinas e ligantes poliméricos (BULJETA *et al*., 2021). Eles representam uma fonte promissora de compostos bioativos altamente valiosos (BELOŠEVIĆ *et al*., 2024). As principais substâncias fenólicas em algumas frutas são arbutina, ácido caféico, catequina, ácido clorogênico, epicatequina, ácido ferúlico, ácido gálico, ácido p-cumárico e rutina, que podem regular o metabolismo da glicose e dos lipídios no corpo humano (WANG, L.; ZHANG, H.; LEI, H, 2021). Estes compostos bioativos naturais dos alimentos exercem um impacto positivo, afetando uma variedade de funções fisiológicas e celulares do corpo (LACHOWICZ, *et al*., 2020). Sendo que, estes demonstram importantes propriedades antioxidantes e participam de diversas atividades promotoras da saúde (MURTAZA *et al*., 2020).

Frutas como laranjas, maçãs, uvas, romãs e seus produtos como os sucos, são consumidos diariamente em grandes quantidades em todo o mundo. Seu consumo tornou-se ainda maior após a conscientização dos consumidores sobre os seus benefícios à saúde em função de sua composição nutricional (MANTZOURANI *et al*., 2024). Nos sucos, os compostos fenólicos predominante são principalmente os ácidos hidroxicinâmicos, incluindo ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico e seus derivado e entre esses compostos, o ácido clorogênico foi relatado como o ácido fenólico dominante (HE *et al*., 2022). No processamento dos sucos, as frutas podem ser processadas como tal ou separadas em suas partes constitutivas, submetidas a procedimentos de extração, e analisadas em sua composição polifenólica, cor, componentes voláteis e aromáticos (FRASCHETTI *et al*., 2023). O conteúdo de vários compostos fenólicos em sucos, podem ser separados e analisados usando diferentes métodos analíticos para essa separação e identificação (GC-FID) Cromatografia Gasosa com Detecção por Ionização de Chama, (HPLC-DAD) Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Detecção de Arranjo de Diodos e (HPLC-ESI-MS) Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à Espectrometria de Massa com Ionização por Eletrospray (LAAKSONEN *et al*., 2020). Com isso, o objetivo desta revisão sistemática foi avaliar quais as das principais metodologias utilizadas para análises de perfil de compostos fenólicos sucos e produtos vegetais líquidos através de uma revisão sistemática da literatura.

2. METODOLOGIA

Esta revisão foi elaborada através de estudos publicados na literatura que realizaram análises de perfil de compostos fenólicos em sucos. Foram observados identificados os tipos de alimentos líquidos que foram estudados, a forma de preparo da amostra, a quantidade de amostra e o solvente utilizado na metodologia e os métodos analíticos instrumentais para estas análises. O objetivo desta revisão sistemática de literatura foi reunir dados de trabalhos publicados entre 2020 a 2024, sobre metodologias para analisar perfil de compostos fenólicos, seguindo as diretrizes metodológicas definidas pelo protocolo PRISMA (Moher et al., 2015). O software Mendeley desktop foi utilizado para organizar os resultados da busca de acordo com a base de dados e auxiliou na organização dos dados facilitando o processo produtivo e repetitivo de uma revisão sistemática de literatura. Os artigos foram selecionados por meio da base de dados on-line: Periódicos da CAPES www.periodicos.capes.gov.br. Os termos de pesquisa foram: (Profile AND Phenolic compounds AND Fruit juice). Os resultados foram limitados a artigos com idioma em inglês publicados entre 2020-2024. Os artigos identificados tiveram seus títulos, resumos e palavras-chave avaliados de forma independente. Foram excluídos os livros e capítulos de livros, resumos de congressos e estudos de caso. Posteriormente foi utilizado o conceito Qualis CAPES que é um sistema de classificação de produção científica brasileira, aplicando-se os seguintes critérios de exclusão: artigos com Qualis inferior a A1 e A2 e trabalhos que não trabalharam com perfil de compostos fenólicos. Os artigos que foram incluídos, foram analisados e comparados sendo os registros duplicados removidos, restando um número final de 28 artigos. A tabela 1 abaixo apresenta todos os critérios de inclusão e exclusão da presente revisão. As perguntas que nortearam a busca foram: Quais metodologias são utilizadas para analisar o perfil de composto fenólicos em sucos e produtos vegetais líquidos?

Tabela 1 - Critérios de inclusão e exclusão.

Critérios de inclusão	
Tipo de periódico	Artigo de pesquisa cientifica, revisado por pares
Idioma	Inglês
Período de publicação	2020 - 2024
Disponibilidade	Acesso aberto
Qualis	De A1 e A2
Critérios de exclusão	
Tipo de publicação	Resumo; Livro ou capítulo de livro; Artigo de revisão bibliográfica; Boletins informativos.
Assunto	Título ou resumo não condizente com o tema da pesquisa; Trabalhos que não fizeram o perfil de compostos fenólicos no estudo e não envolveram alimentos.

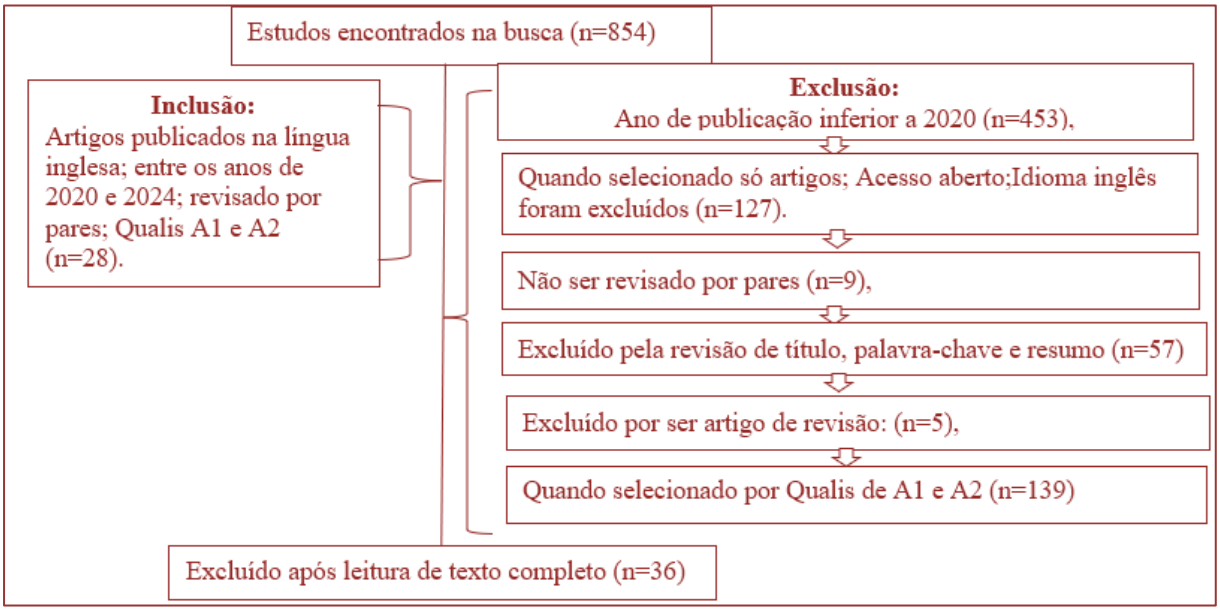
Fonte: Elaboração própria, 2024.

3. RESULTADOS E COLETA DE DADOS

Após a definição dos critérios de inclusão e exclusão a pesquisa foi realizada conforme o fluxograma apresentado na figura 1 abaixo. Na busca foram encontrados 854 estudos, contudo, foram excluídos 453 por não pertencerem ao período de 2020 a 2024; 127 por não serem artigos, não ter acesso aberto e não está no idioma inglês; 9 por não ser revisado por pares; 57 Excluído pela revisão de título, palavra-chave e resumo; 5 por

serem artigos de revisão; 139 quando selecionado por Qualis de A1 e A2; após leitura de texto completo pelos temas não se encaixarem nos critérios de escolha, sendo inclusos 28 artigos nesta revisão.

Figura 1. Fluxograma da busca dos artigos.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

3.1. SUCOS DE FRUTA

Os sucos são bebidas amplamente distribuídas e consumidas em todo o mundo, são fáceis de encontrar o que facilita o acesso ao produto, proporcionando um equilíbrio natural de água, vitaminas, minerais, açúcares, carotenóides, fibras e ácidos orgânicos, juntamente com um sabor agradável e fresco. Além disso, alguns sucos foram identificados como fontes promissoras de flavonóides na dieta humana, compostos bem conhecidos por suas propriedades antioxidantes, citoprotetoras, antiangiogênicas, antiinflamatórias e anticancerígenas (SMERIGLIO *et al*., 2020). A composição do suco de fruta desempenha um papel importante na sua estabilidade. Porém, mesmo após o processamento com o objetivo de prolongar a vida útil, sabe-se que a qualidade dos produtos muda continuamente ao longo do tempo. Ou seja, mesmo para um produto com estabilidade de armazenamento, há uma limitação em seu prazo de validade devido a reações químicas deteriorantes que determinam sua data de validade (ABEDELMAKSOUD, *et al*., 2022).

Com relação aos atributos dos frutos, estes diferem dependendo da cultivar, localização e condições climáticas, método de cultivo, grau de maturação, e armazenamento da matéria prima (TARANTINO *et al*., 2022). O suco de frutas é uma bebida popular consumida por pessoas de todas as idades devido às suas qualidades nutricionais e sensoriais. No entanto, os sucos de frutas frescas têm uma vida útil curta, de apenas 1 a 2 dias em condições de armazenamento refrigerado (SZCZEPAŃSKA; SKĄPSKA; MARSZAŁEK, 2021). Alguns tipos de sucos de frutas com propriedades melhoradas podem também ser incorporados em matrizes de frutas adequadas,

originando alimentos funcionais com melhor composição e alto potencial para amenizar alguns problemas de saúde (HINESTROZA-CÓRDOBA *et al*., 2021). Sucos de frutas comerciais são obtidos pelo processamento industrial das frutas e sua qualidade depende da espécie da fruta, origem geográfica, condições de cultivo, estágio de maturação e tecnologia utilizada durante seu processamento (KRSTIĆ *et al*., 2022).

A fruta pode ser processada em sucos por várias etapas que são: prensagem, filtragem e aquecimento durante a pasteurização para minimizar a deterioração microbiana e aumentar a vida útil dos sucos de frutas (JUHART *et al*., 2023). No processamento tradicional de sucos de frutas ocorre o escurecimento enzimático dos sucos, o que está relacionado à alta atividade de enzimas oxirredutoras como a polifenol oxidase (PPO) e a peroxidase (POD), devido à rápida degradação de compostos fenólicos em quinonas, o que leva à formação de pigmentos escurecidos no produto (MURTAZA *et al*., 2020). Com relação aos alimentos estudados o que obteve maior quantidade de estudos foi com suco de maçã com 7 estudos com ´percentual de 25,00%. Já os sucos de uva, pêra, amora e suco de romã tiveram 2 usos com 7,14%. Os sucos de frutas vermelhas, manga, lulo, cereja jamaicana, tangerina, laranja, abacaxi, groselha, frutas cítricas, brócolis, amaranto e beterraba vermelha (microgreen), o extrato de agregados de suco de cereja, o extrato de sucos de frutas, o extrato de amostra de frutos obtiveram 1 uso cada com 3,57%.

3.2. COMPOSTOS FENÓLICOS E COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Os compostos fenólicos chamam a atenção devido a seu potencial de atividade biológica associada à sua proteção antioxidante e influência positiva na qualidade nutricional dos alimentos (BULJETA *et al*., 2022). O conteúdo destes compostos nas frutas e vegetais depende de vários fatores, como cultivar, parte da fruta, medidas agronômicas aplicadas, condições climáticas, estágio de maturidade, colheita e métodos de processamento. Em termos de fruta, a casca contém significativamente mais compostos fenólicos em comparação com a polpa (ORAS *et al*., 2022). Um ensaio de compostos fenólicos totais (TPC) é de fato um método rápido, que pode ser usado para uma indicação preliminar do rendimento de polifenóis ao otimizar a extração, mas muitos compostos quimicamente semelhantes interferem nos resultados do teste **(**TERENZI *et al*., 2024). A quantificação de compostos fenólicos totais em suco de frutas permite estimar a capacidade antioxidante atividade das frutas, pois esses compostos têm a capacidade de neutralizar os radicais livres doando átomos de hidrogênio (MACIÁ-VÁZQUEZ *et al*., 2023). Alterações no conteúdo fenólico total do substrato podem ocorrer por vários fatores, como por exemplo, alterações no pH do substrato (FREDIANSYAH *et al*., 2021). O conteúdo dos compostos fenólicos durante o processamento de sucos pode ser determinado usando várias técnicas (JUHART *et al*., 2023). A avaliação do perfil fenólico único de sucos de frutas pode ser usada como uma ferramenta para autenticidade e identificação da adulteração de sucos de frutas. Por outro lado, antocianinas (como cianidina, peonidina, delfinidina, petunidina e glicosídeos de malvidina), resveratrol, flavonóis, ácidos fenólicos e taninos (como catequinas, epicatequinas e proantocianidinas) podem ser os principais compostos fenólicos presentes em frutas e seus respectivos sucos. O perfil fitoquímico de amostras de suco diferentes poderia ser usado para construir bancos de dados de sucos de frutas, que por sua vez podem ser usados para estabelecer a autenticidade e origem geográfica de produtos alimentícios, comparando as composições de amostras desconhecidas com amostras de referência ou de controle (KRSTIĆ *et al*., 2022

Tabela 2- Artigos incluídos na revisão sistemática e dados coletados desses artigos

N	Referência	Técnicas utilizados para determinação	Absorbância	Tipo de amostra	Solventes usados como fase móvel	Quantidades de amostras Injetada na fase móvel
1	MANTZOURANI *et al.*, 2024	UPLCQtoF/MS cromatográfico líquido com bomba HPG-3400	-	Suco de frutas e vegetais	Água/metanol contendo de acetato de amônio	20 µL
2	MURTAZA *et al.*, 2020	HPLC Waters 2695; coluna C18	280 nm	-	Água acidificada, ácido fórmico e acetonitrila	20 µL
3	MALEŠ *et al.*, 2023	Cromatografia líquida de ultraperformance (UPLC) com coluna Fortis C18	-	Sucos de maçã, abacaxi e laranja	Água	-
4	FREDIANSYAH *et al.*, 2021	UHPLC Reprosil 3 µm C18	210 e 240 nm	Suco de cereja jamaicana	ddH_2O, Acetonitrila, com ácido fórmico)	5 µL
5	BERGER *et al.*, 2020	Sistema HPLC acoplado a espectrômetro de massa HCT	-	Extratos de sucos de frutas vermelhas	Água/acetonitrila/ ácido fórmico	5 µL
6	TARANTINO *et al.*, 2022	HPLC – detecção de matriz de diodos (DAD)	200– 600 nm	Suco de romã	-	
7	ABEDELMAKSOUD, *et al.*, 2022	HPLC	285 nm	Suco de manga	Metanol	20 µL
8	BELOŠEVIĆ *et al.*, 2024	Cromatografia líquida de ultra-alta eficiência (UHPLC) acoplado a espectrometria de massa de tempo de voo quadrupolo	-	Sucos Microgreen de Brócolis, Amaranto e Beterraba Vermelha	Metanol, HCl e água milliQ	-
9	VENDRAMIN; VIEL; VINCENZI, 2021	Cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC)	280 nm	Suco de uva verde	Metanol e etanol	10 µL
10	HE *et al.*, 2022	UHPLCDAD-ESI-QTOF	280, 320, 360 nm	Sucos de pera	Ácido fórmico e acetonitrila	-
11	KOPJAR *et al.*, 2023	Cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC)	190 a 600 nm	Extrato agregados de suco de cereja	Ácido ortofosfórico e metanol	5 µL
12	ORAS *et al.*, 2022	Thermo Scientific Finnigan Surveyor HPLC-DAD	280 e 350 nm.	Sucos de Maçã	Acetonitrila, água bidestilada, ácido fórmico	20 µL
13	JUHART *et al.*, 2023	UHPLC	280, 350, 530 nm	Sucos de Maçã	-	20 µL
14	DOU; RAI; NITIN, 2022	HPLC (RP-HPLC)-DAD	250 a 600 nm	Suco de uva	Solução de ácido fosfórico, solução de acetonitril	10 µL
15	WANG, L.; ZHANG, H.; LEI, H, 2021	HPLC com coluna C18	280 nm	Suco de pêra	Ácido fórmico e acetonitrila	-
16	LAAKSONEN *et al.*, 2020	HPLC-DAD e HPLC-ESI-MS	-	Sucos de groselha	-	-
17	WANG *et al.*, 2021	Cromatografia líquida de ultra-alta eficiência (UHPLC, Nexera X2, SHIMADZU, Japão)	280 nm	Suco de maçã	Água deionizada com ácido acético e metanol	20 µL
18	LACHOWICZ, *et al.*, 2020	(UPLC) equipado com gerenciador de solvente binário	280, 320, 360 e 520 nm	Sucos de frutas chokeberry e cranberry	Ácido fórmico e acetonitrila	10 µL
19	BULJETA *et al.*, 2022	Cromatografia líquida de alto desempenho HPLC	190 a 600 nm	Suco de amora	Ácido ortofosfórico e metanol	-

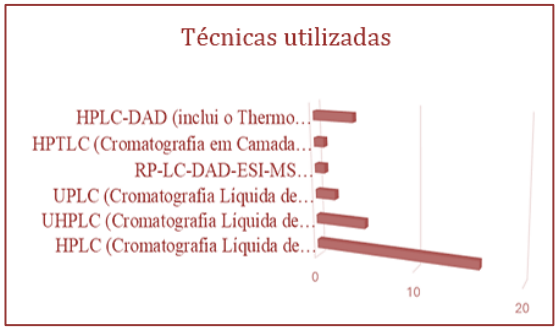
Tabela 2- Artigos incluídos na revisão sistemática e dados coletados desses artigos (continuação)

N	Referência	Técnicas utilizados para determinação	Absorbância	Tipo de amostra	Solventes usados como fase móvel	Quantidades de amostras Injetada na fase móvel
20	SMERIGLIO *et al*., 2020	Cromatografia líquida de fase reversa acoplada à detecção de arranjo de diodos e análise por espectrometria de massa com armadilha de íons por eletrospray (RP-LC-DAD-ESI-MS)	190-600 nm	Sucos cítricos	-	5 µl
21	HINESTROZA-CÓRDOBA *et al*., 2021	HPLC com detector MS e uma coluna C18, UHPLC (Ultra High- Performance Liquid Chromatography).	-	Suco de lulo	Ácido fórmico, água e metanol	5 µL
22	SZCZEPAŃSKA; SKĄPSKA; MARSZAŁEK, 2021	HPLCcoluna análitica Sunfire C18	-	Suco de maçã	Ácido acético e acetonitrila	10 µL
23	KRSTIĆ *et al*., 2022	HPTLC – ESI – HRMS	366 nm	Sucos de maçã e uva	Metanol	3 µL
24	YANG *et al*., 2022	HPLC acoplado a uma coluna Inertsil ODS-3	350 e 280 nm	Suco de maçã	Ácido acético glacial aquoso, ácido acético glacial e metanol	20 µL
25	BULJETA *et al*., 2021	HPLC 1260 Infinity II	190 a 600 nm.	Suco de amora	Ácido ortofosfórico e metanol	10 µl
26	FRASCHETTI *et al*., 2023	HPLC-DAD	280, 360 e 520 nm	Sucos de romã	Acetonitrila, água acidificada e ácido fórmico)	-
27	TERENZI *et al*., 2024	Cromatografia líquida com detecção de arranjo de diodos (HPLCDAD)	250, 280, 320, 360, 370 nm	Extratos de amostra de frutos	Metanol e solução aquosa de ácido acético	20 µL
28	MACIÁ-VÁZQUEZ *et al*., 2023	Cromatografia Líquida de Alto Desempenho HPLC	210 nm	Suco de tangerina	Ácido fosfórico	-

Fonte: Próprio Autor

Durante a análise dos artigos foi possível observar que há diversas técnicas utilizadas para a quantificação de compostos fenólico em suco de frutas. Para a técnicas utilizadas nos estudos, o HPLC (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência) obteve 16 usos com 55,17%, o UHPLC (Cromatografia Líquida de Ultra-Alta Eficiência) 5 usos com 17,24%, o UPLC (Cromatografia Líquida de Ultra-Performance) 2 usos 6,90%, o RP-LC-DAD-ESI-MS (Cromatografia Líquida de Fase Reversa acoplada à detecção de arranjo de diodos e espectrometria de massa por eletrospray) 1 uso 3,45%, o HPTLC (Cromatografia em Camada Delgada de Alta Performance)1 uso 3,45% e o HPLC-DAD 4 usos13,79% (inclui o Thermo Scientific Finnigan Surveyor). Abaixo na figura 1 é possível observar as técnicas instrumentais utilizadas nos estudos para a determinação do perfil dos compostos fenólicos.

Figura 1- Percentual técnicas analíticas utilizadas nos artigos avaliados utilizadas



Fonte: Próprio Autor

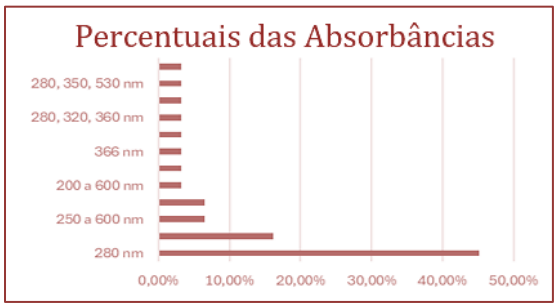
3.3. METODOS INSTRUMENTAIS PARA DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENOLICOS

Os métodos analíticos utilizados com mais frequência são direcionados e concentram-se na detecção e identificação de determinados compostos ou classes de compostos como marcadores químicos para avaliação de autenticidade (como aminoácidos, ácidos orgânicos, sacarídeos). Análises alvo por cromatografia líquida de alta eficiência e cromatografia gasosa- espectrometria de massa quadrupolo são mais comumente utilizadas para garantir a autenticidade de sucos de frutas, com ênfase na identificação e quantificação de compostos específicos, como os fenólicos (KRSTIĆ *et al*., 2022). Após a leitura completa dos 28 artigos que foram incluídos nesta revisão pode-se avaliar método instrumental para análise dos perfis dos compostos fenólicos, tipo de amostra, tipo de fase móvel, comprimento de onda para leitura quando utilizado quantidade de amostra injetada para análise e estes artigos com algumas informações analíticas são apresentadas na tabela 2. A cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) pode ser aplicada para a identificação e quantificação de compostos fenólicos presentes em amostras, enquanto o perfil pode ser avaliado por cromatografia gasosa com análise por espectrometria de massa (GC-MS) (KOPJAR *et al*., 2023). A cromatografia em camada fina de alto desempenho (HPTLC) está se tornando mais popular na análise de alimentos devido à hifenização direta com ensaios dirigidos por efeito planar, detecção múltipla do mesmo cromatograma, identificação de substâncias altamente direcionadas, análises paralelas sob as mesmas condições experimentais, baixos custos operacionais, baixo consumo de solvente e método verde em comparação com HPLC. O cromatograma HPTLC obtido pode ser analisado estatisticamente por ferramentas quimiométricas sofisticadas para obter o máximo de informações, como a identificação de marcadores químicos de origem geográfica e similaridade/ dissimilaridade entre as amostras analisadas (KRSTIĆ *et al*., 2022). Os analitos podem ser identificados pela co-injeção de compostos de referência e quantificados em (g/mL) usando padrões internos. Os compostos fenólicos (antocianinas monoméricas, derivados de ácido hidoxicinâmico e flavonóis) também podem ser analisados com HPLC-DAD e HPLC-ESI-MS. Os compostos fenólicos nos sucos são identificados com base nos tempos de retenção cromatográfica, compostos de referência, espectros de UV, características de espectros de massa e referências da literatura. A quantificação dos compostos fenólicos ($\mu g.mL^{-1}$) é realizada usando padrões externos e curvas de calibração de compostos de referência autênticos (LAAKSONEN *et al*., 2020). A etapa mais crítica na extração de compostos bioativos é representada pelo isolamento dos ácidos fenólicos de outros polifenóis. Foi demonstrado que a cromatografia representa uma ferramenta de manuseio para o isolamento seletivo de

ésteres, e vários métodos foram ajustados para obter picos de alta resolução de polifenóis do suco de frutas. Além dos métodos tradicionais de HPLC, foi desenvolvido um método para a recuperação de ésteres derivados de algumas matérias-primas com base na cromatografia de contracorrente de alta velocidade (HSCCC). Essa cromatografia permiti a extração e a separação bem-sucedida de ésteres do ácido cafeico, do ácido cumárico e do ácido ferúlico pelo modo de eluição de cabeça para cauda, em que os compostos-alvo podem ser separados dos polifenólicos co-extraídos e, posteriormente, isolados em uma segunda execução (VENDRAMIN; VIEL; VINCENZI, 2021). A cromatografia líquida exige um tempo significativamente maior para a separação de compostos bioativos; assim, a separação de derivados de algumas matérias-primas exige um tempo maior para a eluição na segunda execução do HSCCC. Além disso, esse método envolve a extração preliminar com metanol e acetato de etila e duas fases móveis com base em uma mistura de hexano/acetato de etila/metanol/água e éter terc-butil-metil/acetonitrila/n-butanol/água. A simplicidade do perfil de compostos fenólicos em suco possibilita uma manipulação prática da amostra e o uso da cromatografia de baixa pressão como tecnologia de separação (VENDRAMIN; VIEL; VINCENZI, 2021). A investigação do complexo perfil fitoquímico de sucos de frutas requer o desenvolvimento de novos métodos analíticos confiáveis, eficientes e sensíveis ou o aprimoramento de métodos já existentes (KRSTIĆ *et al*., 2022). Nos estudo analisados o método tradicional de HPLC foi o mais utilizados nas análises de compostos fenólicos. Os compostos fenólicos foram detectados por diferentes detectores acoplado ao método utilizado. E as absorbâncias das amostras variaram de 190 a 600 nm como pode ser visto na tabela.

Pode-se verificar com os estudos que os métodos de quantificação utilizado juntamente com a metodologia cromatográfica de separação, são métodos óticos de análise química, sendo a absorbância (absorção da radiação) empregada na maioria das análises. Com relação a absorbância a de absorbância 280 nm obteve 11 usos com o maior percentual 45,16%, a absorbância de 190 a 600 nm 4 usos com 16,13%, a de 250 a 600 nm 2 usos 6,45%, a de 280 e 350 nm 2 usos 6,45%, e as demais de 200 a 600 nm, a de 285 nm 1 uso, de 366 nm 1 uso, de 210 nm: 1 uso, de 280, 320, 360 nm: 1 uso, de 210 e 240 nm, de 280, 350, 530 nm, de 280, 360, 520 nm obtiveram 1 uso com 3,23%. Abaixo na figura 2 é possível observar as absorbâncias utilizadas nos estudos para a determinação do perfil dos compostos fenólicos.

Figura 2- Percentual de absorbâncias utilizadas nos artigos avaliados utilizadas



Fonte: Próprio Autor

Na fase móvel foram usadas diferentes solventes como água, água acidificada, metanol contendo de acetato de amônio, ddH_2O, acetonitrila, com ácido fórmico, ácido

clorídrico e água milliQ, ácido ortofosfórico e acetato de etila e em muitas vezes em diferentes combinações como pode ser visto na tabela 3 abaixo. Todos eram de grau HPLC de cordo com os autores. O ácido fórmico e acetonitrila obtiveram 10 usos com 31,25%, metanol 6 usos com 18,75%, ácido ortofosfórico e metanol 3 usos 9,38%, ácido fosfórico 2 usos 6,25%, água/metanol (com diferentes aditivos) 3 usos 9,38%, ácido acético e acetonitrila 2 usos 6,25%, acetonitrila e água (com diferentes aditivos) 2 usos 6,25%, e os demais solventes água, ácido acético glacial e metanol, ddh_2o (água desionizada) e acetonitrila com ácido fórmico, solução de ácido fosfórico e acetonitrila 1 uso com 3,13%. Sobre as quantidades de amostras injetadas na fase móvel a quantidade de 20 µL obteve 9 usos com 42,86%, de 10 µL 5 usos 23,81%, 5 µL 6 usos 28,57%, e de 3 µL 1 uso com 4,76%.

Então, pode se observar que HPLC foi a técnica instrumental mais comum para separação dos compostos, usada em 16 dos casos. UHPLC e HPLC-DAD foram usados 5 e 4 vezes, respectivamente. A absorbância de 280 nm foi a mais frequentemente utilizada, aparecendo em 11 das análises. O suco de maçã foi o alimento mais estudado, presente em 7 análises. Ácido fórmico e acetonitrila foram os solventes mais comumente usados como fase móvel, em 10 análises. A quantidade de amostra injetada mais comum foi 20 µL, utilizada em 9 análises.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi analisado de estudos já publicados observa-se que existem diversas técnicas instrumentais para análise de perfis de compostos fenólicos em vegetais, como no caso do suco de frutas. Para separação, identificação e quantificação dos compostos fenólicos foi possível observar que a técnica HPLC acoplada a diversos detectores são os mais comumente utilizados para o perfil de compostos fenólicos em matrizes vegetais. A escolha da metodologia depende dos objetivos da análise, dos tipos de compostos presentes e das características da matriz da amostra a ser analisada e são alguns dos fatores que influenciam na escolha de uma metodologia de análise química. Muitas vezes, uma combinação de vários métodos de análise de separação e quantificação precisam ser empregados para obter uma análise com qualidade analítica.

REFERENCIAS

[1] ABEDELMAKSOUD, T. G.; MOHSEN, S. M.; DUEDAHL-OLESEN, L.; ALTEMIMI, A. B.; ELNIKEETY, M. M.; CACCIOLA, F.; FEYISSA, A. H. Positive Influences of Ohmicsonication on Phytochemical Profile and Storage Stability of Not-from-Concentrate Mango Juice. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 27, n. 6, p. 1986, 2022.

[2] BERGER, K.; OSTBERG-POTTHOFF, J. J.; BAKURADZE, T.; WINTERHALTER, P.; RICHLING, E. Carbohydrate Hydrolase-Inhibitory Activity of Juice-Based Phenolic Extracts in Correlation to Their Anthocyanin/Copigment Profile. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 25, n. 22, p. 5224, 2020.

[3] BULJETA, I.; NOSIĆ, M.; PICHLER, A.; IVIĆ, I.; ŠIMUNOVIĆ, J.; KOPJAR, M. Apple Fibers as Carriers of Blackberry Juice Polyphenols: Development of Natural Functional Food Additives. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 27, n. 9, p. 3029, 2022.

[4] BULJETA, I.; PICHLER, A.; ŠIMUNOVIĆ, J.; KOPJAR, M. Polyphenols and Antioxidant Activity of Citrus Fiber/Blackberry Juice Complexes. **Molecules (Basel, Switzerland**). v. 26, n. 15, p. 4400, 2021.

[5] FRASCHETTI, C.; GOCI, E.; NICOLESCU, A.; CAIRONE, F.; CARRADORI, S.; FILIPPI, A.; PALMIERI, V.; MOCAN, A.; CESA, S. Pomegranate Fruit Cracking during Maturation: From Waste to Valuable Fruits. **Foods**. v. 12, n. 9, p. 1908, 2023.

[6] FREDIANSYAH, ANDRI; ROMADHONI, FITRIO; SURYANI; NURHAYATI, RIFA; WIBOWO, A. T. Fermentation of Jamaican Cherries Juice Using Lactobacillus plantarum Elevates Antioxidant Potential and Inhibitory Activity against Type II Diabetes-Related Enzymes. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 26, n. 10, p. 2868, 2021.

[7] HE, W.; LAAKSONEN, O.; TIAN, Y.; HAIKONEN, T.; YANG, B. Chemical Composition of Juices Made from Cultivars and Breeding Selections of European Pear (Pyrus communis L.). **Journal of agricultural and food chemistry**. v. 70, n. 16, p. 5137-5150, 2022.

[8] HINESTROZA-CÓRDOBA, L. I.; BARRERA, C.; SEGUÍ, L.; BETORET, N. Potential Use of Vacuum Impregnation and High-Pressure Homogenization to Obtain Functional Products from Lulo Fruit (Solanum quitoense Lam.). **Foods**. v. 10, n. 4, p. 817, 2021.

[9] JUHART, J.; MEDIC, A.; JAKOPIC, J.; VEBERIC, R.; HUDINA, M.; STAMPAR, F. Use of HPLC-MS to Determine the Loss of Metabolites in Apple Juices under Different Storage Conditions. **Foods**. v. 12, n. 15, p. 2822, 2023.

[10] KOPJAR, M.; BULJETA, I.; ĆORKOVIĆ, I.; KELEMEN, V.; PICHLER, A.; IVIĆ, I.; ŠIMUNOVIĆ, J. Dairy-Protein-Based Aggregates as Additives Enriched with Tart Cherry Polyphenols and Flavor Compounds. **Foods**.v. 12, n. 11, p. 2104, 2023.

[11] KRSTIĆ, Đ.; RISTIVOJEVIĆ, P.; ANDRIĆ, F.; MILOJKOVIĆ-OPSENICA, D.; MORLOCK, G. E. Quality Assessment of Apple and Grape Juices from Serbian and German Markets by Planar Chromatography—Chemometrics. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 27, n. 12, p. 3933, 2022.

[12] LAAKSONEN, O.; MÄKILÄ, L.; JOKINEN, M.; METZ, T.; KALLIO, H.; YANG, B. Impact of storage on sensory quality of blackcurrant juices prepared with or without enzymatic treatment at industrial scale. **European food research & technology**. v. 246, n. 12, p. 2611-2620, 2020.

[13] LACHOWICZ, S.; OSZMIAŃSKI, J.; WILCZYŃSKA, M.; ZAGUŁA, G.; SALETNIK, B.; PUCHALSKI, C. Impact Mineralization of Chokeberry and Cranberry Fruit Juices Using a New Functional Additive on the Protection of Bioactive Compounds and Antioxidative Properties. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 25, n. 3, p. 659, 2020.

[14] MACIÁ-VÁZQUEZ, A. A.; NÚÑEZ-GÓMEZ, D.; MARTÍNEZ-NICOLÁS, J. J.; LEGUA, P.; MELGAREJO, P. Morphological and Biochemical Characterization of Late-Season Varieties of Mandarin Growing in Spain under Homogeneous Growing Conditions. **Agronomy (Basel)**. v. 13, n. 7 p. 1825, 2023.

[15] MALEŠ, I.; DOBRINČIĆ, A.; ZORIĆ, Z.; VLADIMIR-K. S.; ELEZ GAROFULIĆ, I.; REPAJIĆ, M.; SKROZA, D.; JERKOVIĆ, I.; DRAGOVIĆ-UZELAC, V. Phenolic, Headspace and Sensory Profile, and Antioxidant Capacity of Fruit Juice Enriched with Salvia officinalis L. and Thymus serpyllum L. Extract: A Potential for a Novel Herbal-Based Functional Beverages. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 28, n. 9, p. 3656, 2023.

[16] MANTZOURANI, I.; NIKOLAOU, A.; KOURKOUTAS, Y.; ALEXOPOULOS, A.; DASENAKI, M.; MASTROTHEODORAKI, A.; PROESTOS, C.; THOMAIDIS, N.; PLESSAS, S. Chemical Profile Characterization of Fruit and Vegetable Juices after Fermentation with Probiotic Strains. **Foods**. v.13, n. 7, p. 1136, 2024.

[17] MURTAZA, A.; IQBAL, A.; MARSZAŁEK, K.; IQBAL, M. A.; WASEEM ALI, S.; XU, X.; PAN, S.; HU, W. Enzymatic, Phyto-, and Physicochemical Evaluation of Apple Juice under High-Pressure Carbon Dioxide and Thermal Processing. **Foods**. v. 9, n. 2, p. 243, 2020.

[18] ORAS, A.; AKAGIĆ, A.; SPAHO, N.; GAŠI, F.; ŽULJEVIĆ, S. O.; MELAND, M. Distribution and Stability of Polyphenols in Juices Made from Traditional Apple Cultivars Grown in Bosnia and Herzegovina. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 28, n. 1, p. 230, 2022.

[19] SMERIGLIO, A.; DENARO, M.; D'ANGELO, V.; GERMANÒ, M. P.; TROMBETTA, D. Antioxidant, Anti-Inflammatory and Anti-Angiogenic Properties of Citrus lumia Juice. **Frontiers in pharmacology**. v. 11, p. 593506, 2020.

[20] SZCZEPAŃSKA, J.; SKĄPSKA, S.; MARSZAŁEK, K. Continuous High-pressure Cooling-Assisted Homogenization Process for Stabilization of Apple Juice. **Food and bioprocess technology**. v. 14, n. 6, p. 1101-1117, 2021.

[21] TARANTINO, A.; DIFONZO, G.; DISCIGLIO, G.; FRABBONI, L.; PARADISO, V. M.; GAMBACORTA, G.; CAPONIO, F. Fresh pomegranate juices from cultivars and local ecotypes grown in southeastern Italy: comparison of physicochemical properties, antioxidant activity and bioactive compounds. **Journal of the science of food and agriculture**. v. 102, n. 3, p. 1185-1192, 2022.

[22] TERENZI, C.; BERMUDEZ, G.; MEDRI, F.; DAVANI, L.; TUMIATTI, V.; ANDRISANO, V.; MONTANARI, S.; DE SIMONE, A. Phenolic and Antioxidant Characterization of Fruit By-Products for Their Nutraceuticals and Dietary Supplements Valorization under a Circular Bio-Economy Approach. **Antioxidants**. v. 13, n. 5, p. 604, 2024.

[23] VENDRAMIN, V.; VIEL, A.; VINCENZI, S. Caftaric Acid Isolation from Unripe Grape: A "Green" Alternative for Hydroxycinnamic Acids Recovery. **Molecules (Basel, Switzerland)**. v. 26, n. 4, p. 1148, 2021.

[24] WANG, H.; TAO, Y.; LI, Y.; WU, S.; LI, D.; LIU, X.; HAN, Y.; MANICKAM, S.; SHOW, P. L. Application of ultrasonication at different microbial growth stages during apple juice fermentation by Lactobacillus plantarum: Investigation on the metabolic response. **Ultrasonics sonochemistry**. v. 73, p. 105486, 2021.

[25] WANG, L.; ZHANG, H.; LEI, H. Phenolics Profile, Antioxidant Activity and Flavor Volatiles of Pear Juice: Influence of Lactic Acid Fermentation Using Three Lactobacillus Strains in Monoculture and Binary Mixture. **Foods**. v. 11, n. 1, p. 11, 2021.

[26] YANG, J.; SUN, Y.; GAO, T.; WU, Y.; SUN, H.; ZHU, Q.; LIU, C.; ZHOU, C.; HAN, Y.; TAO, Y. Fermentation and Storage Characteristics of "Fuji" Apple Juice Using Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei and Lactobacillus plantarum : Microbial Growth, Metabolism of Bioactives and in vitro Bioactivities. **Frontiers in nutrition (Lausanne)**. v. 9, p. 833906, 2022.

CAPÍTULO

10

Métodos de remoção de compostos fenólicos em produtos vegetais liquidos: uma revisão sistemática

Jucimara Silva, Emerson Adriano Guarda, Luiz Sinésio Neto, Janeisi de Lima Meira, Renata Junqueira Pereira, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Patrícia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

As frutas trazem muitos benefícios à saúde graças aos seus compostos bioativos, principalmente fenólicos. Os compostos fenólicos consistem em ácidos fenólicos e flavonóides, como flavonas, flavanonas e flavonóis. Os ácidos cafeico, *p* -cumárico, sinápico, ferúlico e clorogênico são ácidos fenólicos mais comuns em algumas frutas e esses compostos fenólicos são os metabólitos secundários e possuem propriedades antioxidantes (BUYUKKURT *et al*., 2019). Porém, existem alguns compostos fenólicos e derivados que são considerados poluentes prioritários porque são prejudiciais aos organismos vivos, mesmo em baixas concentrações. Muitos desses compostos são tóxicos, carcinogênicos e podem levar a características indesejáveis em diversos produtos (YADAV; RAI e YADAV, 2017).

A tendência crescente de consumir alimentos mais frescos e minimamente processados aumentou as vendas de sucos de frutas turvos com concentração maior de compostos fenólicos, porém em quantidades elevadas estes compostos bioativos tornam o suco altamente suscetível ao escurecimento enzimático alterando ainda o gosto do alimento, tornando um problema para a indústria garantir a estabilidade das características sensórias do produto (MUÑOZ-PINA *et al*., 2022).

A recuperação ou remoção de compostos antioxidantes como os fenólicos de matrizes vegetais é normalmente realizada através de processos de extração ou concentração. O processo de extração deve ser realizado em condições otimizadas, escolhendo-se um solvente adequado, nas melhores temperatura, concentração e tempo e ainda aplicando métodos não convencionais, sendo que os processos térmicos são aplicados convencionalmente para a etapa de concentração (MAGALHÃES; CARDOSO E REIS, 2018).

O tratamento do suco, ou clarificação do suco, é um processo que remove impurezas grosseiras, coloidais e compostos orgânicos, através da reação entre o agente utilizado e os compostos presentes no suco (COSTA *et al*., 2015). Algumas tecnologias reduzem os efeitos adversos de compostos fenólicos como o sabor amargo, adstringente e turbidez, melhorando as propriedades gustativas dos produtos (ALBUQUERQUE *et al*., 2020).

A separação dos compostos fenólicos de subprodutos pode ser realizada utilizando as seguintes etapas principais: pré-tratamento macroscópico, extração, isolamento (separação de macro e micromoléculas) e purificação, e formação do produto. Processos de membrana acionados por pressão, como microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (RO), podem ser usados em diferentes estágios: MF no pré-tratamento macroscópico, UF na separação de macro e micro-moléculas, e NF e RO na purificação/concentração (MONTENEGRO-LANDÍVAR *et al*., 2022). A extração de

compostos derivados de plantas e antioxidantes de fontes naturais, especialmente polifenóis, estão relacionadas com a prevenção de doenças degenerativas ou como tratamento para melhoria das propriedades de produtos (MAGALHÃES; CARDOSO E REIS, 2018). Com isso, o objetivo da presente revisão é conhecer as principais tecnologias de remoção de compostos fenólicos em produtos alimentícios líquidos com ênfase em suco de frutas.

2. METODOLOGIA

Esta revisão foi elaborada através de estudos publicados na literatura que utilizaram tecnologias de remoção de compostos fenólicos em suco. Foram observados os tipos de alimentos líquidos que foram estudados, o resultado obtido no processo utilizado, o processo de remoção de compostos fenólicos e a eficiência desse processo de remoção. O objetivo desta revisão sistemática de literatura foi reunir dados de trabalhos publicados entre 2015 e 2024, sobre tecnologias e eficiência da remoção de compostos fenólicos de suco de frutas, seguindo diretrizes metodológicas definidas pelo protocolo PRISMA (Moher *et al*., 2015). O software Mendeley desktop foi utilizado para organizar os resultados da busca de acordo com a base de dados e auxiliou na organização dos dados facilitando o processo produtivo e repetitivo de uma revisão sistemática de literatura.

Os artigos foram selecionados por meio da base de dados on-line: Periódicos da CAPES www.periodicos.capes.gov.br. Os termos de pesquisa foram: (Phenolic compounds AND Fruit juice AND Removal Technologies). Os resultados foram limitados a artigos com idioma em inglês publicados entre 2015-2024. Os artigos identificados tiveram seus títulos, resumos e palavras-chave avaliados de forma independente. Foram excluídos os livros e capítulos de livros, resumos de congressos e estudos de caso. Após estas etapas, utilizou-se como outro critério de inclusão e exclusão de trabalhos o conceito Qualis CAPES que é um sistema de classificação de produção científica brasileira, aplicando-se os seguintes critérios de exclusão: artigos com Qualis inferior a B3 e trabalhos que não mencionaram compostos fenólicos e tecnologias de remoção. Os artigos que foram incluídos, foram analisados e comparados, sendo que os registros duplicados foram removidos, restando um número final de 18 artigos. A tabela 1 abaixo apresenta todos os critérios de inclusão e exclusão da presente revisão. As perguntas a serem respondidas com essa revisão sistemática são: Quais tecnologias utilizadas para remoção de compostos fenólicos em produtos vegetais líquidos? Quais são utilizadas para remoção em sucos de frutas?

Tabela 1 - Critérios de inclusão e exclusão.

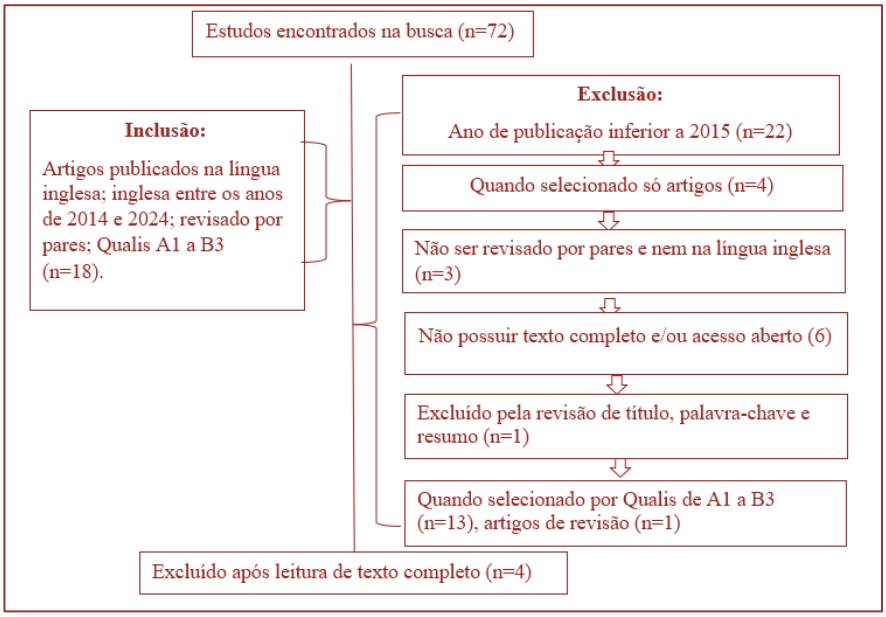
Critérios de inclusão	
Tipo de periódico	Artigo de pesquisa cientifica, revisado por pares
Idioma	Inglês
Período de publicação	2015 - 2024
Disponibilidade	Acesso aberto
Qualis	De A1 a B3
Critérios de exclusão	
Tipo de publicação	Resumo; Livro ou capítulo de livro; Artigo de revisão bibliográfica; Boletins informativos.
Assunto	Título ou resumo não condizente com o tema da pesquisa; Tecnologias que não removeram compostos fenólicos no estudo e não envolvendo alimentos.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a definição dos critérios de inclusão e exclusão a pesquisa foi realizada conforme o fluxograma apresentado na figura 1 abaixo. A busca encontrou 72 estudos, contudo, foram excluídos 22 por não pertencerem ao período de 2015 a 2024, 4 por não serem artigos, 3 por não estar em inglês e por não ser revisado por pares, 6 por Não possuir texto completo e/ou não serem de acesso aberto, 1 por serem artigo de revisão bibliográfica, quando selecionado por Qualis de A1 a B3 (n=13), e 1 pelos temas e/ou resumos não se encaixarem nos critérios de escolha, 2 após leitura de texto completo, sendo inclusos 18 nesta revisão.

Figura 1. Fluxograma da busca dos artigos.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Os artigos incluídos nesta revisão foram os que se tratavam de produtos alimentícios líquidos no qual foram usados para remoção de compostos fenólicos. Abaixo na tabela 2 é possível observar as tecnologias testadas, os produtos estudados e os resultados obtidos nos estudos.

Tabela 2- Tecnologias, produto estudo e estudos resultados obtidos nos estudos encontrados.

N	Autor	Tecnologia de remoção utilizada	Produto líquido estudado	Resultado obtido do processo no estudo
1	YADAV; RAI e YADAV, 2017.	Tecnologia baseada em uma enzima	Suco da fruta Luffa aegyptiaca	Eficiente
2	MONTENEGRO-LANDÍVAR *et al*., 2022.	Processo integrado de membrana	Extratos aquosos de espinafre e laranja	Bom potencial para recuperação de polifenóis
3	MUÑOZ-PINA *et al*., 2022.	Material magnético de sílica mesoporosa UVM-7	Suco de maçã	Potencial como agente antiescurecimento
4	COSTA *et al*., 2015.	Coagulante	Suco de sorgo doce	Significativo
5	ALBUQUERQUE *et al*., 2020.	enzimas	Chá verde	Satisfatório na remoção de compostos fenólicos
6	MAGALHÃES; CARDOSO E REIS, 2018.	Bioadsorventes seguido por processo de microfiltração	Extrato aquoso de pequi	Eficiente
7	GAGLIANÒ *et al*., 2022.	Membranas de nanofiltração com MWCO	Suco de maçã	Bom potencial para recuperação de polifenóis
8	BUYUKKURT *et al*., 2019.	Filtro de membrana	Sucos de limão doce	-
9	GÜVEN e ATEŞ, 2024.	Processo de coagulação-floculação	Águas residuais de processamento de limão	Significativo
10	COSIO *et al*., 2022.	Membranas nanofibrosas de nylon-6 eletrofiadas	Sucos de toranja	Destaca o potencial como filtros seletivos para desamargar sucos cítricos
11	ZHANG *et al*., 2024.	Hidrólise enzimática	Solução amostral de pó de fruta	Significativo
12	HUANG *et al*., 2021.	Enzima mimética da lacase baseada emcopper ione monofosfato de adenosina	Suco de fruta	Remoção eficiente
13	AKYILDIZ *et al*., 2022.	Resinas de troca iônica	Suco de laranja	Diminuição de fenólicos totais
14	ZENTELIS *et al*., 2023.	Membranas composto por uma membrana de ultrafiltração (UF), duas membranas de nanofiltração (NF) e uma membrana de osmose reversa (RO)	Extrato rico em compostos fenólicos	Extraídos com sucesso
15	HASHIM, H *et al*., 2018.	Trocador de íons de base fraca	Solução aquosa	Remoção de ácidos orgânicos e compostos fenólicos dependente do tempo de contato
16	HOSSEINI *et al*., 2021.	Enzima	Suco de bérberis	Eficiente
17	NGUYEN *et al*., 2024.	Gelatina em pó	Suco de caju	Remoção eficiente
18	BEHFAR *et al*., 2022.	Gelatina, bentonita e diatomita	Suco de uva	Redução mínima em compostos fenolicos

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Durante a análise dos artigos foi possível observar que há diversas técnicas utilizadas para a remoção de compostos fenólico em diferentes tipos de produtos alimentícios e/ou seus subprodutos líquidos.

Os produtos líquidos estudos foram suco de frutas, chá verde, extrato aquoso de frutas e vegetais, águas residuais de processamento de suco e solução amostral de pó de fruta. Sendo que 1 utilizou suco da fruta Luffa aegyptiaca, 2 sucos de maçã, 1 suco de sorgo doce, 1 sucos de limão doce, 1 sucos de toranja, 1 suco de laranja, 1 suco de bérberis, 1 suco de caju, 1 suco de uva, 1 extratos aquosos de espinafre e laranja, 1 extrato aquoso de pequi, 1 águas residuais de processamento de limão, 1 chá verde, 1 solução amostral de pó de fruta, 1 extrato rico em compostos fenólicos, 1 solução aquosa. As frutas têm sido consumidas globalmente há muitos anos como parte de uma dieta saudável, devido ao alto teor de nutrientes (AKYILDIZ *et al*., 2022).

Os compostos fenólicos são sintetizados como metabólitos secundários. Sua presença confere várias características específicas à fruta em termos de cor, aroma e sabor. A maior quantidade de compostos fenólicos é encontrada na casca e nas sementes da fruta, e nos caules. (ZENTELIS *et al*., 2023)**.**

A remoção de compostos orgânicos, especialmente fenóis, é muito importante porque os fenólicos causam um ônus ambiental devido à sua toxicidade. No entanto, sua capacidade de atuar como substrato para a ação de radicais livres, como as espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (ROS, RNS), torna-os compostos antioxidantes. Assim, eles podem ser valorizados após sua separação e isolamento ideais como reagentes antioxidantes nos setores farmacêutico e alimentício (ZENTELIS *et al*., 2023).

Compostos fenólicos também possuem papel de serem antioxidantes naturais, que podem agir reduzindo o conteúdo de compostos tóxicos nos alimentos e fornecendo antioxidantes exógenos ao corpo humano **(**HASHIM *et al*., 2018**).**

A tendência de consumir produtos derivados de frutas, como suco é crescente, porque são uma boa fonte de açúcares (frutose, glicose), ácidos orgânicos (ácido tartárico, ácido málico, ácido cítrico), minerais (Cu, Fe, Mn), fenólicos (catequina, malvidina 3,5-diglucosídeo, cianidina-3,5-diglucosídeo) e vitaminas (BEHFAR *et al*., 2022).

O caju, por exemplo, é uma fruta com alto teor nutricional, além de conter carboidratos, minerais, vitaminas, aminoácidos e ácidos orgânicos, os frutos do caju também contêm substâncias adstringentes que são os polifenóis, principalmente os taninos que levam a características indesejáveis como adstringência a seus produtos como no caso, do suco da fruta (NGUYEN *et al*., 2024).

Os resíduos da indústria de processamento de frutas também contêm polifenóis, vitaminas e flavonóides que são benéficos para a saúde humana. Esses resíduos industriais podem ser considerados fontes renováveis, baratas e de fácil acesso de antioxidantes fenólicos. Nos últimos anos, a recuperação de compostos funcionais de resíduos alimentares ganhou importância porque é uma fonte alimentar natural relativamente barata e segura (GÜVEN; ATEŞ, 2024).

3.1. EFEITOS DOS COMPOSTOS FENÓLICOS NAS CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DE SUCO DE FRUTAS

Com a melhoria do nível de consumo e da estrutura da dieta das pessoas, as bebidas de suco de frutas estão sendo preferidas por cada vez mais consumidores por seu

rico conteúdo vitamínico e nutrição balanceada. Os compostos fenólicos dos sucos de frutas são antioxidantes naturais, porém eles interagem com as proteínas, formando uma névoa ou sedimento que torna o suco turvo. A oxidação enzimática e a oxidação química dos compostos fenólicos causam escurecimento do suco de fruta, o que afeta a aceitação do produto pelos consumidores. Portanto, é necessário realizar tratamento de clarificação no processo de produção do suco (HUANG *et al*., 2021).

O amargor e a adstringência do também podem ser um obstáculo significativo à utilização de produtos alimentares. O amargor e a adstringência das frutas estão intimamente relacionados ao seu conteúdo fenólico. O ácido gálico , o ácido pirocatecuico e o ácido gálico são os principais contribuintes para o seu sabor amargo. A adstringência é um fenômeno complexo no qual polifenóis ou outros compostos causam sensação de ressecamento no epitélio oral (ZHANG *et al*., 2024).

O sabor amargo dos sucos também é determinado pela presença de flavonoides e terpenoides. De fato, flavanonas, flavonas e flavonóis glicosilados são considerados responsáveis pelo "amargor imediato", enquanto os terpenoides, incluindo os limonoides (derivados de tetranortriterpenoides), são responsáveis pelo amargor "persistente" do suco (COSIO; PELLICANÒ E GARDANA, 2022).

As etapas de processamento dos sucos de frutas incluem separação e lavagem das frutas, produção do suco cru, clarificação, tratamento térmico e embalagem. Dentre essas etapas, a clarificação, que é teoricamente definida como a remoção de material suspenso que causa turbidez e sedimentação no produto, é particularmente importante devido ao seu efeito significativo na aparência, sabor, atenção ao cliente e comercialização do suco **(**HOSSEINI *et al*., 2021). Apesar destes compostos levarem diversos benefícios a saúde humana eles também desempenham papel significativo no escurecimento de sucos de frutas, comprometendo a aceitabilidade do produto diante do consumidor, fazendo com que muitas vezes seja necessário a sua remoção.

3.2. TECNOLOGIAS PARA REMOÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

Apesar dos muitos benefícios dos compostos fenólicos, o sabor amargo e adstringente causado por alguns diminuiu o valor de mercado dos produtos. Muitas tentativas foram feitas para resolver esses problemas. Os métodos de remoção de amargor incluem métodos por adsorção física, tratamento com soda cáustica, bem como hidrólise enzimática , que é uma forma atraente de remover o amargor e aumentar o valor nutricional das matérias-primas (ZHANG *et al*., 2024).

Os artigos foram classificados com base no foco da pesquisa que é as tecnologias utilizadas nos processos de remoção de compostos fenólicos, os 18 artigos inclusos nesta utilizaram diferentes técnicas para remoção dos compostos fenólicos nos sucos, como tecnologia baseada em uma enzima, processo integrado de membrana, material magnético de sílica mesoporosa UVM-7, coagulante, bioadsorventes seguido por processo de microfiltração, membranas de nanofiltração com MWCO, filtro de membrana, processo de coagulação-floculação, membranas nanofibrosas de nylon-6 eletrofiadas, hidrólise enzimática, enzima mimética da lacase baseada em copper ione monofosfato de adenosina, resinas de troca iônica, membrana de ultrafiltração (UF), membranas de nanofiltração (NF) e membrana de osmose reversa (RO), trocador de íons de base fraca, gelatina em pó, gelatina, bentonita e diatomita.

Dos 18 artigos 4, utilizaram combinação de métodos como pode ser visto na tabela 2. Em relação aos resultados obtidos dos estudos, após a aplicação desses processos, todos os estudos relataram que houve a remoção de compostos fenólicos, sendo que apenas e 1, deles, o que utilizou Gelatina, bentonita e diatomita destacou que teve uma redução mínima desses compostos fenólicos.

Na produção industrial convencional de sucos, os processos são feitos com auxílio de gelatina, bentonita e diversos tipos de membranas. Porém, com o avanço da ciência e a crescente demanda por processos mais seletivos e limpos nos últimos anos, as enzimas ganharam um lugar especial neste processo por possuírem alta eficiência, seletividade, baixa toxicidade e operarem em condições reacionais suaves. A pectinase é a enzima mais importante empregada na clarificação do suco, que quebra a estrutura do polímero da pectina e reduz a indesejável turbidez, turvação e sedimentos (HOSSEINI *et al*., 2021).

Foi relatado também que as resinas de troca iônica têm algumas aplicações na indústria alimentícia, como amaciamento, desmineralização , descoloração , purificação de proteínas e processos biotecnológicos. Embora os trocadores de íons sejam usados para reduzir o excesso de acidez nos sucos, esta aplicação também pode remover parte do amargor dos sucos (AKYILDIZ *et al*., 2022). Logo, resinas adsorventes e de troca iônica têm mostrado resultados promissores na modificação de ácidos em sucos de frutas (HASHIM *et al*., 2018).

De acordo com Cosio; Pellicanò E Gardana (2022)**,** várias abordagens tecnológicas foram desenvolvidas para reduzir a excreção de flavonoides e terpenoides relacionados ao amargor de sucos cítricos e outros produtos. Estratégias como a modificação dos protocolos de manuseio da fruta antes da extração do suco (durante a colheita ou pós-colheita); degradação mediada por enzimas de compostos associados ao amargor do suco, em particular, flavonoides; e processamento físico usando resinas de troca iônica, polímeros ou complexos de inclusão de ciclodextrina. A eficácia do adsorvente varia, mas foram relatadas taxas de remoção de compostos amargos de sucos de casca de frutas cítricas ou melaço de até 80-90%**.**

No processamento dos sucos de frutas as operações de membrana acionadas por pressão, como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, são consideradas tecnologias bem estabelecidas para as etapas de clarificação, estabilização, fracionamento e concentração na produção destes produtos. Esses processos oferecem várias vantagens em relação às tecnologias convencionais devido às suas condições operacionais de temperatura amena (preservando, portanto, as propriedades funcionais dos produtos alimentícios), baixos custos de operação e manutenção, não utilização de agentes químicos ou solventes e, consequentemente, a possibilidade de evitar a contaminação do produto (GAGLIANÒ *et al*., 2022).

Os métodos de extração para recuperação de compostos fenólicos podem variar de acordo com as substâncias obtidas e o material utilizado. Os métodos de extração à base de solvente utilizando etanol, metanol e hexano têm sido utilizados nas extrações de substâncias funcionais desde o passado até o presente. Porém, esses métodos possuem as desvantagens de necessitar de longo tempo de extração, alta quantidade de solvente e remoção de solvente (GÜVEN; ATEŞ, 2024).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante análise dos artigos foi possível observar que são utilizadas diversas técnicas para remover diversos compostos fenólicos principalmente em alimentos líquidos como em suco de frutas. A remoção de compostos fenólicos em sucos torna se um processo importante pois muitos consumidores optam por características sensórias agradáveis nesses produtos, pois alguns destes compostos levam a características indesejáveis como em sua, cor e saber levando a rejeição do produto. Foi possível observar que todas as tecnologias utilizadas foram capazes de remover compostos fenólicos dos produtos estudados.

REFERENCIAS

[1] AKYILDIZ, A.; ÖNÜR, E.; AĞÇAM, E.; DÜNDAR KIRIT, B.; UÇAN TÜRKMEN, F. Changes in quality parameters of orange juice deacidified by ion exchange resins. **Food chemistry**. v. 375, p. 131837, 2022.

[2] ALBUQUERQUE, K. K. S A; ALBUQUERQUE, W. W. C.; COSTA, R. M. P. B.; BATISTA, J. M. S.; MARQUES, D. A V; BEZERRA, R. P.; HERCULANO, P. N.; PORTO, A. L. F. Biotechnological potential of a novel tannase-acyl hydrolase from Aspergillus sydowii using waste coir residue: Aqueous two-phase system and chromatographic techniques. **Biocatalysis and agricultural biotechnology**. v. 23, p. 101453, 2020.

[3] BEHFAR, M.; HESHMATI, A.; MEHRI, F.; KHANEGHAH, A. M. Removal of Ochratoxin A from Grape Juice by Clarification: A Response Surface Methodology Study. **Foods**. V. 11, n. 10, p. 1432, 2022.

[4] BUYUKKURT, O. K.; GUCLU, G.; KELEBEK, H.; SELLI, S. Characterization of phenolic compounds in sweet lime (Citrus limetta) peel and freshly squeezed juices by LC-DAD-ESI-MS/MS and their antioxidant activity. **Journal of food measurement & characterization**. v. 13, n. 4, p. 3242-3249, 2019.

[5] COSIO, M. S.; PELLICANÒ, A.; GARDANA, C.; FUENMAYOR, C. A. Debittering of Grape Juice by Electrospun Nylon Nanofibrous Membranes: Impact of Filtration on Physicochemical, Functional, and Sensory Properties. **Polymers**. V. 15, n. 1, p. 192, 2022.

[6] COSTA, G. H. G.; FREITA, C. M.; FREITA, L. A.; CARNEIRO, M. J. R. Effects of Different Coagulants on Sweet Sorghum Juice Clarification. **Sugar tech: an international journal of sugar crops & related industries**. v. 17, n. 2, p. 210-213, 2015.

[7] GAGLIANÒ, M.; CONIDI, C.; DE LUCA, G.; CASSANO, A. Partial Removal of Sugar from Apple Juice by Nanofiltration and Discontinuous Diafiltration. **Membranes (Basel)**. v. 12, n. 7, p. 712, 2022.

[8] GÜVEN, H. M.; ATEŞ, H. A holistic approach to the recovery of valuable substances from the treatment sludge formed from chemical precipitation of fruit processing industry wastewater. **The Science of the total environment**. v. 917, p. 170372, 2024.

[9] HASHIM, H.; ZUBAIRI, S. I.; WAN MUSTAPHA, W. A.; MASKAT, M. Y. Characterizing the Deacidification Adsorption Model of Organic Acids and Phenolic Compounds of Noni Extract Using Weak Base Ion Exchanger. **Journal of chemistry**. v. 2018, p. 1-10, 2018.

[10] HOSSEINI, S. S.; KHODAIYAN, F.; MOUSAVI, S. M.; AZIMI, S. Z. Continuous Clarification of Barberry Juice with Pectinase Immobilised by Oxidised Polysaccharides. **Food technology and biotechnology**. v. 59, n. 2, p. 174-184, 2021.

[11] HUANG, H.; LEI, L.; BAI, J.; ZHANG, L.; SONG, D.; ZHAO, J.; LI, J.; LI, Y. Efficient elimination and detection of phenolic compounds in juice using laccase mimicking nanozymes. **Chinese journal of chemical engineering**. v. 29, n. 1, p. 167-175, 2021.

[12] MAGALHÃES, F. S.; CARDOSO, V. L.; REIS, M. H. M. Sequential process with bioadsorbents and microfiltration for clarification of pequi (Caryocar brasiliense Camb.) fruit extract. **Food and bioproducts processing**. V. 108, P. 105-116, 2018.

[13] MONTENEGRO-LANDÍVAR, M. F.; TAPIA-QUIRÓS, P.; VECINO, X.; REIG, M.; GRANADOS, M.; FARRAN, A.; CORTINA, J. L.; SAURINA, J.; VALDERRAMA, C. Article Recovery of Natural Polyphenols from Spinach and Orange By-Products by Pressure-Driven Membrane Processes. **Membranes (Basel)**. n. 7, v. 12, p. 669, 2022.

[14] MUÑOZ-PINA, S.; DUCH-CALABUIG, A.; DAVID, E. R. A.; ROS-LIS, J. V.; AMORÓS, P.; ARGÜELLES, Á.; ANDRÉS, A. Bioactive compounds and enzymatic browning inhibition in cloudy apple juice by a new magnetic UVM-7-SH mesoporous material**. Food research international**. v. 162, p. 112073, 2022.

[15] NGUYEN, T. P.; NGUYEN, N. N.; LIEN, T. N.; NGUYEN, Q. D. Tannin Removal of Cashew Apple Juice by Powdered Gelatin Treatment and Its Utilization in Bacterial Cellulose Production. **Applied biochemistry and biotechnology**. v. 196, n. 3, p. 1435-1449, 2024.

[16] YADAV, M.; RAI, N.; YADAV, H. S. The role of peroxidase in the enzymatic oxidation of phenolic compounds to quinones from Luffa aegyptiaca (gourd) fruit juice. **Green chemistry letters and reviews**. n. 3, v. 10, p. 154-161, 2017.

[17] ZENTELIS, A. D.; KODJAPASHIS, M. P.; KOTROTSOS, N.; ZAGKLIS, D. P.; SYGOUNI, V.; LAMARI, F. N.; PARASKEVA, C. A. Separation, Isolation, and Enrichment of Samples of Phenolic Compounds from Winemaking By-Products. **Sustainability (Basel, Switzerland)**. v. 15, n. 16, p. 12221, 2023.

[18] ZHANG, L.; LIN, L.; HU, Y.; WU, D.; ZHANG, Z.; CHEN, C.; WANG, L.; LI, J. Debittering of Emblica (Phyllanthus emblica L.) fruit powder: Preparation and biological activity. **Food Chemistry: X**. v. 21, p. 100853, 2024.

CAPÍTULO

11

Desenvolvimento e armazenamento de geleia de guapeva (*Pouteria gardneriana*) em embalagens de polietileno sob diferentes temperaturas

Romulo Alves Morais, Vitória Cristian Carneiro Santos, Camila Mariane da Silva Soares, Glendara Aparecida de Souza Martins

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro é um dos biomas mais ricos e diversificados do mundo, ocupando aproximadamente 25% do território nacional (MORAIS et al., 2022a). Sua flora é marcada por uma grande variedade de espécies adaptadas às condições de solo e escassez hídrica, com destaque para inúmeras plantas comestíveis e com aplicações medicinais. Essa riqueza natural é frequentemente subutilizada, mas oferece grande potencial para o desenvolvimento de produtos alimentares sustentáveis e inovadores, além de contribuir para a preservação ambiental e econômica das comunidades que fazem sua coleta (SOUSA et al., 2023). Entre os frutos nativos, encontram-se espécies que ainda são pouco conhecidas, mas com grande valor nutricional e econômico como a guapeva.

A guapeva (Pouteria gardneriana), é um fruto nativo do Cerrado que tem ganhado atenção nos últimos anos devido a suas características sensórias, propriedades nutricionais, e sua rica composição bioativa. Rica em fibras, vitaminas e compostos antioxidantes, a guapeva tem sido estudada tanto para consumo in natura quanto para a produção de produtos derivados, como sucos, doces e bebidas fermentadas (SOARES et al., 2021). A fruta apresenta um elevado potencial para o mercado de alimentos funcionais, já que seus compostos bioativos podem trazer benefícios à saúde, como a prevenção de doenças crônicas e neurodegenerativas (BARBOSA et al., 2016). Logo, sua valorização no mercado pode impulsionar tanto a preservação do Cerrado quanto o desenvolvimento de comunidades locais.

Nesse sentido, o processo de produção de geleia é uma técnica que vem sendo aprimorada ao longo do tempo, que consiste na extração do suco ou da polpa da fruta, adição de açúcar, e na utilização de agentes geleificantes, como a pectina, para dar consistência ao produto final (REICHEMBACH; PETKOWICZ, 2021). A produção de geleia de guapeva tem se mostrado uma alternativa interessante para agregar valor ao fruto, promovendo sua conservação e prolongando seu prazo de validade, devido principalmente à sazonalidade dos frutos do Cerrado. Esse processo não só contribui para a diversificação de produtos no mercado como também fomenta o desenvolvimento econômico regional, principalmente em comunidades rurais que dependem dos frutos do Cerrado (SOARES et al., 2021; MORAIS et al., 2022b).

Uma inovação importante no setor de geleias é o aproveitamento de resíduos agroindustriais, como o albedo do maracujá, que pode substituir a pectina comercial. O albedo, é a parte branca interna da casca do maracujá, tem uma alta concentração de fibras e propriedades geleificantes naturais (TALMA et al., 2019). Esse aproveitamento não só reduz o desperdício de resíduos orgânicos, mas também representa uma

alternativa mais sustentável e econômica para a produção de geleias. A substituição da pectina comercial pelo albedo de maracujá tem demonstrado resultados promissores, garantindo qualidade no produto final e promovendo a economia circular (SOARES et al., 2021).

Logo, o Cerrado oferece um vasto potencial para o desenvolvimento de produtos inovadores e sustentáveis, como a geleia de guapeva, cuja produção pode ser otimizada por meio de práticas mais ecológicas, como o uso de resíduos agroindustriais. A valorização de frutas nativas e a aplicação de técnicas sustentáveis beneficiam tanto o meio ambiente quanto a economia local, incentivando o uso responsável dos recursos naturais e fortalecendo a conservação desse bioma único. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi o aproveitamento do fruto da guapeva na forma de geleia com ênfase na substituição da pectina comercial por albedo de maracujá, bem como o estudo da estabilidade das geleias processadas durante o armazenamento em embalagens de polietileno de baixa densidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. AMOSTRAS E DESENVOLVIMENTO DAS GELEIAS DE GUAPEVA

Os frutos da guapeva (Pouteria gardneriana) foram colhidos no cerrado local da cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins, sendo os frutos selecionados de acordo com o estado de maturação (apenas frutos maduros) e em bom estado de conservação. As guapevas foram, então, encaminhadas para o Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LACIMP) da Universidade Federal do Tocantins, onde foram devidamente lavados em água clorada a 3%, permanecendo imersas e em repouso durante cerca de 20 minutos para eliminar detritos e possíveis resíduos, em seguida as mesmas foram lavadas em água corrente e devidamente embaladas e armazenadas até o momento do processamento. Em seguida, os frutos foram submetidos à extração manual das frações do fruto (polpa, cascas e sementes), no entanto, a polpa era o objetivo central. A polpa foi armazenada em embalagens plásticas de polietileno e congelada a -20 °C até o preparo da geleia. A geleia de guapeva apresentou na formulação os seguintes componentes: polpa de guapeva (40%), açúcar cristal (60%), ácido cítrico monoidratado (1%) e albedo de maracujá como fonte de pectina (3%).

As geleias de guapeva foram elaboradas utilizando uma panela aberta de aço inoxidável, com a adição inicial de polpa, açúcar e albedo de maracujá. O ácido cítrico foi incorporado ao final do processo de cocção para prevenir a degradação da pectina em função da acidez e das elevadas temperaturas. Após o preparo, as geleias foram submetidas a duas condições distintas de armazenamento. Foram avaliados os fatores temperatura (25°C e 35°C) e tempo de estocagem (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias), sendo que todas as amostras foram acondicionadas em embalagens de polietileno de baixa densidade. Em seguida, as amostras passaram por análises físico-químicas e avaliação de compostos bioativos. Para determinar a melhor condição de processamento da geleia de guapeva, foi utilizado um planejamento fatorial 2^3, conforme descrito por Soares et al. (2021), visando identificar a formulação ideal com base nas pontuações sensoriais. A partir dos resultados anteriores, foram definidos os parâmetros aplicados neste estudo: polpa de guapeva (40%), açúcar (60%), ácido cítrico (1%) e albedo de maracujá como fonte de pectina (3%).

2.2. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS GELEIAS

A quantificação dos sólidos solúveis nas amostras de geleia foi realizada diretamente com o auxílio de um refratômetro analógico da marca AKSO, modelo RHBO-90, seguindo os protocolos estabelecidos pela AOAC (2005). Para determinar a sinérese na geleia de guapeva, empregou-se o método gravimétrico, utilizando-se um béquer de 250 ml e uma peneira para separar o líquido exsudado. O volume do líquido liberado foi pesado e a porcentagem de sinérese foi calculada de acordo com Khouryier et al. (2005), sendo os resultados expressos em gramas de líquido liberado por 100 gramas de geleia. A atividade de água foi mensurada por meio do equipamento Aqualab CX – 2, com cerca de 2,5 gramas de cada amostra acondicionadas em recipientes plásticos e mantidas a uma temperatura controlada de 25 ± 0,5ºC até o momento da análise.

2.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AÇÚCARES

Para a preparação das amostras, foi pesada uma quantidade de 1 g de geleia, seguida pela diluição em 10 mL de água ultrapura (Milli-Q). As amostras foram submetidas a um banho ultrassônico por 30 minutos em temperatura ambiente para promover a extração adequada dos açúcares. Posteriormente, o material foi centrifugado e o sobrenadante obtido foi filtrado por meio de um filtro hidrofílico de politetrafluoroetileno (PTFE) com poros de 0,22 µm. As amostras filtradas foram armazenadas sob refrigeração até a etapa de análise, conforme descrito por Warthesen e Kramer (1979).

A análise e quantificação dos açúcares presentes nas amostras foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), utilizando o equipamento Agilent, modelo 1260 Infinity II, equipado com detector de índice de refração (RID) a 40°C. O sistema de separação empregou uma coluna cromatográfica Supelcogel C-610H (30 cm × 7,8 mm) e uma pré-coluna Supelguard C610H (5 cm × 4,6 mm), ambas da Sigma-Aldrich. A fase móvel utilizada foi composta por água deionizada, com fluxo de 0,5 mL min^{-1}, e o tempo total de análise foi de 18 minutos, com a temperatura do forno mantida a 40°C. Padrões de glicose, frutose, sacarose, xilose, celobiose e arabinose foram utilizados para identificar os carboidratos presentes nas amostras, com base nos respectivos tempos de retenção. A metodologia cromatográfica adotada seguiu as recomendações do Manual de Aplicação de Colunas Supelcogel da Sigma-Aldrich, garantindo precisão e confiabilidade na identificação e quantificação dos açúcares analisados.

2.4. COMPOSTOS BIOATIVOS

O teor total de compostos fenólicos foi determinado conforme o método de Folin-Ciocalteau (WATERHOUSE, 2002), com a preparação do extrato seguindo a metodologia de Oliveira et al. (2012). Para tanto, 0,5 mL dos extratos foram misturados com 2,5 ml do reagente Folin-Ciocalteau (10%) e 2 mL de uma solução de carbonato de sódio (4%). A mistura foi agitada e mantida à temperatura ambiente e em ausência de luz por 2 horas. A absorbância foi mensurada a 750 nm, e os resultados expressos em mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g de geleia.

A concentração de vitamina C foi quantificada por meio do método colorimétrico utilizando 2,4-dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH), conforme descrito por Strohecker e Henning (1967). O ácido ascórbico foi extraído das amostras com ácido oxálico a 0,05% e,

em seguida, a absorbância foi medida a 520 nm em um espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800), sendo os resultados expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de geleia.

2.5. POTENCIAL ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante das amostras foi avaliada por meio do método de eliminação de radicais livres DPPH, de acordo com o protocolo de Brand-Williams et al. (1995), com adaptação de Rufino et al. (2007). Diferentes concentrações dos extratos (0,1 mL) foram misturadas com 3,9 mL da solução de DPPH, mantendo a reação por 30 minutos em ambiente escuro. A absorbância foi medida a 515 nm, e os resultados expressos em EC50 (g de geleia por g de DPPH).

O método FRAP, utilizado para a avaliação da capacidade antioxidante, seguiu a metodologia proposta por Rufino et al. (2006). O reagente FRAP foi preparado com tampão acetato 0,1 mol L -1 (pH 3,6), TPTZ 10 mol L -1 e cloreto férrico 20 mmol L -1 . Para cada ensaio, 90 µL dos extratos diluídos foram combinados com 2,7 mL do reagente FRAP e 270 µL de água destilada. A absorbância foi determinada a 595 nm, com os resultados expressos em µM de sulfato ferroso por grama de geleia.

2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise das geleias, os compostos físico-químicos, bioativos e perfil de açúcares foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). No caso de significância estatística, o teste de Tukey foi avaliado no intervalo de confiança $p \leq 0,05$, com nível de confiança de 95%, utilizando o software SISVAR. A análise de regressão foi utilizada para explicar as possíveis alterações causadas pela influência do tempo e da temperatura, e o modelo com melhor o ajuste foi escolhido através do coeficiente de determinação (r^2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E PERFIL DE AÇUCARES

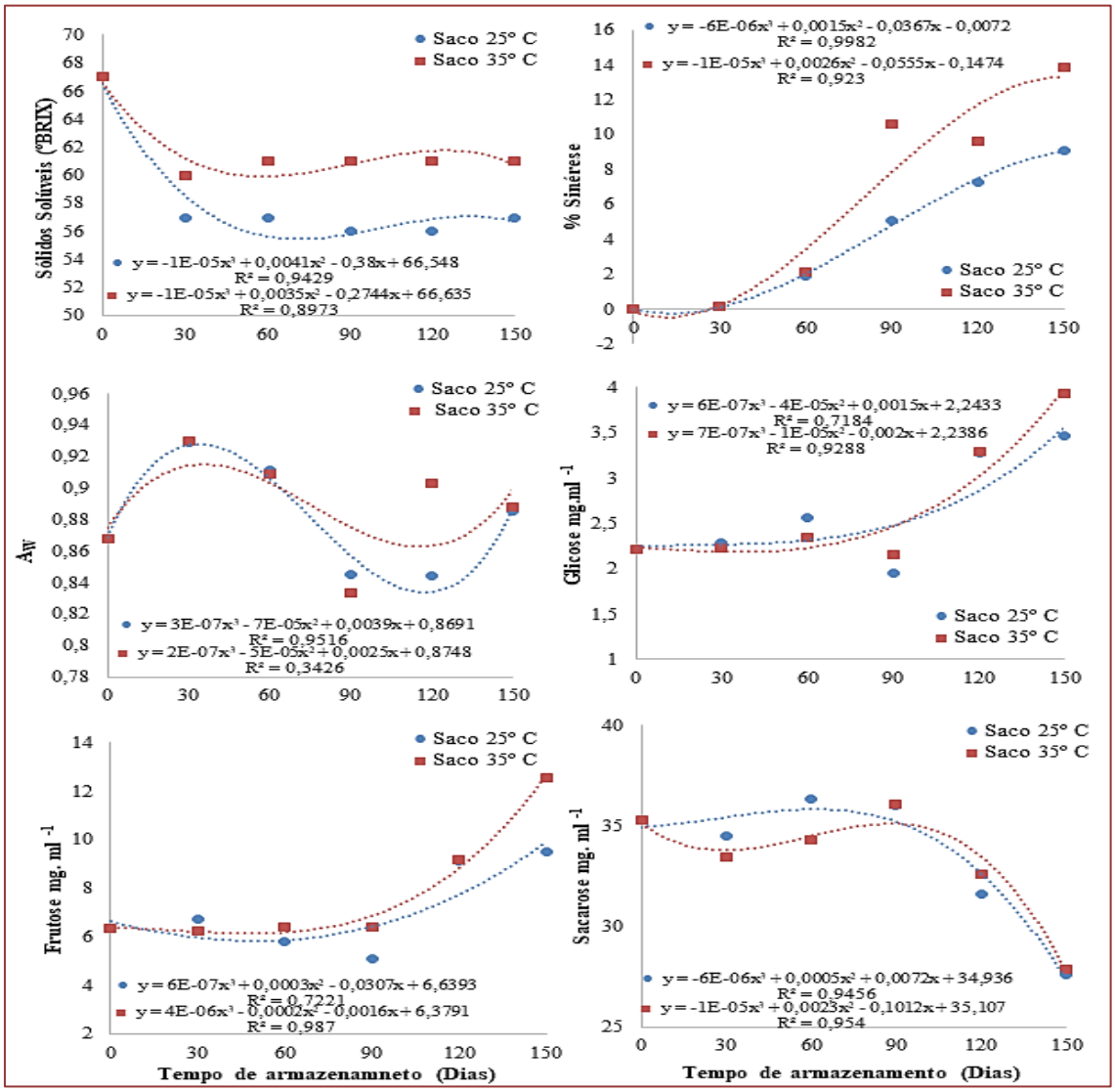
A estabilidade da geleia de guapeva durante o armazenamento foi significativamente impactada pelas variáveis tempo e temperatura, conforme demonstrado pelos resultados das análises físico-químicas ($p < 0,05$). Os dados referentes ao teor de sólidos solúveis, apresentados na Fig. 1, indicam uma influência substancial tanto do tempo quanto da temperatura de armazenamento ($p \leq 0,05$), revelando uma diminuição progressiva dos sólidos solúveis ao longo do período avaliado. Essa redução foi semelhante à observada por Mota (2006) em seu estudo sobre geleias de amora preta de diferentes cultivares.

Os sólidos solúveis, que englobam compostos como açúcares, ácidos orgânicos, vitamina C e pectina, são elementos críticos na manutenção das propriedades sensoriais e nutricionais das geleias (SANTOS et al., 2012). A queda no teor desses sólidos pode ser atribuída, em parte, à degradação de ácidos orgânicos e vitamina C, que são particularmente sensíveis às condições de armazenamento. Além disso, a Fig. 1 também destaca a ocorrência de sinérese nas geleias acondicionadas em embalagens de polietileno, a partir de 90 dias de armazenamento, refletindo um aumento gradual do líquido exsudado. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que geleias com acidez

acima de 0,8% tendem a favorecer a sinérese, e no presente estudo, os níveis de acidez variaram entre 1,07% e 2,92%, corroborando essa tendência.

A atividade de água (aw) também apresentou flutuações, com tendência de decréscimo ao longo do armazenamento (Fig. 1). Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as temperaturas de armazenamento no comportamento da aw ao longo do tempo. Esse declínio pode ser atribuído à hidrólise de açúcares não redutores em redutores, como a glicose e frutose, que são mais higroscópicos e diminuem a atividade de água, além de estar correlacionada com a redução do teor de umidade durante o armazenamento. A menor disponibilidade de água inibe o desenvolvimento de microrganismos, visto que a aw mínima para o crescimento de bolores e leveduras é de 0,8 e 0,85, respectivamente (RIEDEL et al., 2015). Estudos de Mesquita et al. (2013) também reportaram reduções significativas na aw de geleias de goiaba armazenadas por até 180 dias, confirmando que essa diminuição da atividade de água é uma resposta esperada em produtos similares.

Figura 1 – Propriedades físico-químicas e perfil de açúcares das geleias armazenadas em embalagens de polietileno de baixa densidade.



Fonte: Próprio Autor

No que tange aos carboidratos, como glicose, frutose e sacarose, foi possível verificar que o tempo de armazenamento teve influência significativa sobre seus teores ($p \leq 0,05$). Tanto a embalagem quanto a temperatura influenciaram significativamente a glicose e a frutose ao longo do armazenamento (Fig.1). Embora essas oscilações tenham ocorrido ao longo dos meses, a tendência geral foi de um aumento gradual e uniforme nos níveis desses açúcares. Esse comportamento é resultado da hidrólise da sacarose durante o período de armazenamento, o que levou à formação de glicídios redutores, como a glicose e a frutose. Tal processo pode estar relacionado à presença de ácidos orgânicos, como o ácido cítrico, que promovem a hidrólise da sacarose em meios ácidos (OLIVEIRA et al., 2018).

Nesse contexto, a frutose, a glicose e a sacarose são os principais açúcares responsáveis pelo sabor doce das geleias, embora a frutose e a glicose sejam originadas da degradação da sacarose e de outros polissacarídeos durante o armazenamento (NEVES et al., 2015). Esse fenômeno de inversão da sacarose é necessário para prevenir a cristalização dos açúcares, que pode ocorrer em determinados momentos, especialmente durante o armazenamento prolongado (DAMIANI et al., 2012). No presente estudo, a inversão da sacarose parece ter ocorrido devido à redução do pH observada nas geleias ao longo do armazenamento (Fig. 1).

Ao avaliar especificamente a sacarose (Fig. 1), observou-se que essa variável não sofreu influência significativa da temperatura, sendo o tempo de armazenamento o principal fator responsável pela sua diminuição. A redução da sacarose e o consequente aumento dos teores de glicose e frutose evidenciam a hidrólise progressiva da sacarose, processo já documentado por Park et al. (2014) e corroborado por Istrati et al. (2013) em estudos sobre a estabilidade de geleias de goji. Dessa forma, os resultados apresentados neste estudo confirmam a relevância do tempo e da temperatura no comportamento físico-químico das geleias de guapeva durante o armazenamento, com impactos diretos sobre os níveis de açúcares, acidez, atividade de água e sinérese. Esses achados são essenciais para o desenvolvimento de estratégias de conservação que garantam a qualidade sensorial e nutricional das geleias ao longo do tempo, promovendo sua estabilidade em diferentes condições de armazenamento.

3.2. FITOQUÍMICOS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE

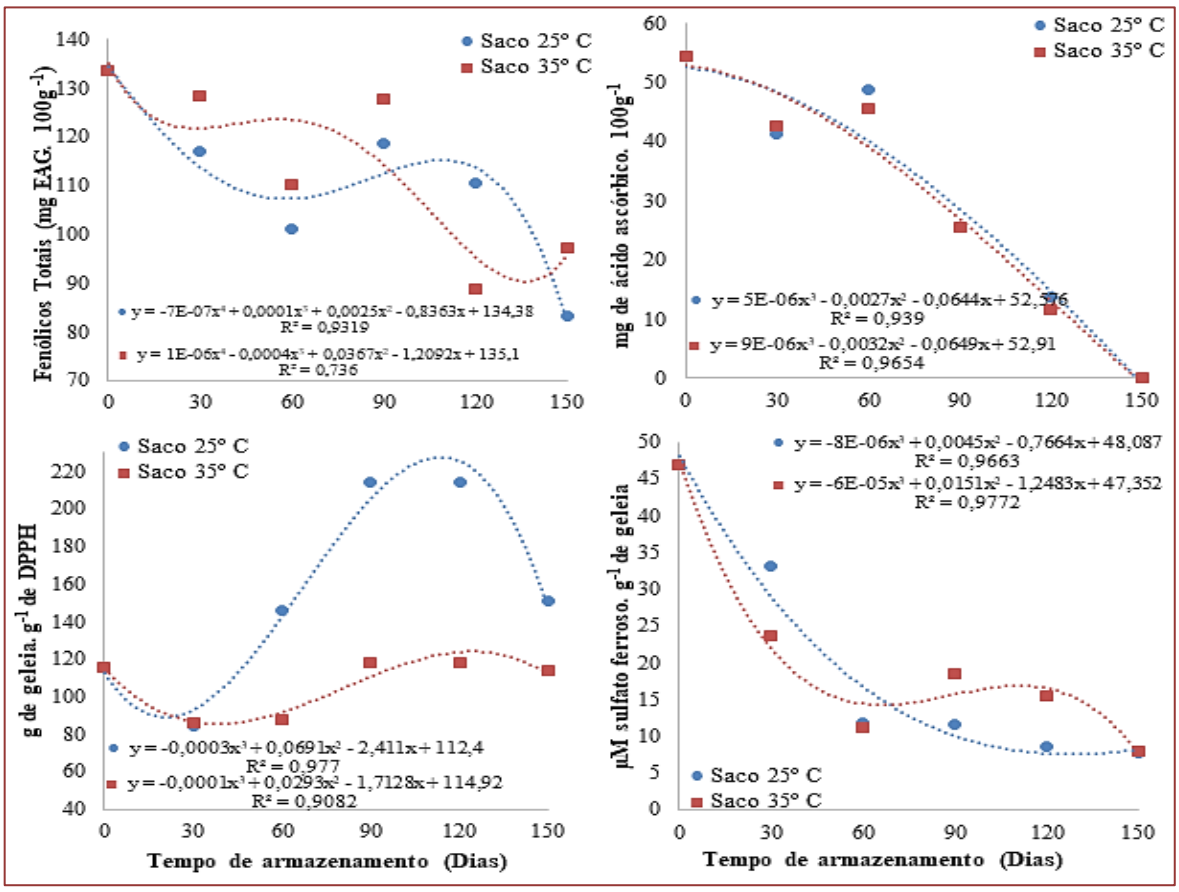
A avaliação dos compostos fenólicos totais revelou flutuações, com uma tendência à diminuição durante o armazenamento em embalagens de polietileno de baixa densidade, conforme demonstrado na Fig. 2. A degradação desses compostos pode ser atribuída à sua alta instabilidade em temperaturas entre 20-40 °C, que desencadeiam reações não enzimáticas após a ruptura das estruturas celulares. Além disso, a presença de oxigênio potencializa a degradação, o que explica a redução observada nos compostos fenólicos quando armazenados em embalagens de polipropileno (PATRAS et al., 2011; KAMILOGLU et al., 2015). Estudos anteriores, como os de Abolila et al. (2015) em geleias de laranja, e Viana et al. (2015) em geleias de umbu-cajá, corroboram essas observações, relatando uma redução similar dos compostos fenólicos ao longo do tempo de armazenamento.

A vitamina C também apresentou uma tendência de redução durante o armazenamento, sendo detectada apenas até o quarto mês, conforme ilustrado na Fig. 2. Resultados semelhantes foram reportados por Damiani et al. (2012) em geleias mistas de araçá e marolo. De acordo com Shinwari et al. (2018), o ácido ascórbico é um dos

compostos mais suscetíveis à degradação térmica, sendo rapidamente degradado pela exposição ao calor. Fatores como a presença de oxigênio, luz e temperaturas elevadas também contribuem significativamente para a sua degradação (CARNEIRO et al., 2016).

Os resultados da análise de atividade antioxidante, medida pela redução do radical DPPH, indicam uma diferença significativa ao longo do armazenamento ($p \leq 0,05$), com uma tendência de diminuição da capacidade antioxidante, uma vez que maiores valores de EC_{50} correspondem a uma menor atividade antioxidante (Fig. 2). No que diz respeito à influência da embalagem, observou-se uma diferença significativa ($p \leq 0,05$) em todos os tempos de armazenamento, sendo que a maior atividade antioxidante foi registrada nas amostras acondicionadas em polietileno a 35 ºC. A capacidade antioxidante é influenciada pela degradação ou síntese de diversos compostos, cuja variação depende das condições fisiológicas e dos níveis de estresses bióticos e abióticos enfrentados pela fruta durante o armazenamento (ROTILI et al., 2013). A redução da atividade antioxidante também foi observada por Scalzo et al. (2004) e Patras et al. (2011), que associaram essa diminuição à degradação térmica do ácido ascórbico e à oxidação não enzimática.

Figura 2 – Fenólicos totais, vitamina C e potencial antioxidante das geleias armazenadas em embalagens de polietileno de baixa densidade.



Fonte: Próprio Autor

Em relação à avaliação do radical FRAP, tanto o tempo quanto a temperatura mostraram-se determinantes para a redução da atividade antioxidante ($p \leq 0,05$). Esses

achados são consistentes com os resultados obtidos por Kamiloglu et al. (2015), que investigaram o impacto de diferentes processamentos e condições de estocagem na estabilidade dos polifenóis em geleias e doces de cenoura preta. Dessa forma, a degradação dos compostos fenólicos e a consequente diminuição da atividade antioxidante observadas no presente estudo refletem a fragilidade desses compostos frente a variações nas condições de armazenamento, reforçando a importância de estratégias adequadas para preservar a qualidade dos produtos ao longo do tempo.

4. CONCLUSÃO

A qualidade da geleia de guapeva foi afetada pela interação entre o tempo e a temperatura de armazenamento, revelando que esses dois fatores exercem um papel crucial na preservação ou degradação do produto. Entre as variáveis estudadas, o tempo de armazenamento demonstrou ser o principal agente de influência na deterioração, impactando diretamente na estabilidade dos compostos bioativos presentes na geleia. A prolongação do tempo de armazenamento resultou em uma degradação acentuada de substâncias como vitaminas, compostos fenólicos e antioxidantes, o que comprometeu a qualidade nutricional e funcional do produto. Além disso, observou-se que a temperatura de 35 °C não é recomendada para o armazenamento da geleia de guapeva, uma vez que acelerou consideravelmente a degradação dos compostos bioativos. As altas temperaturas, combinadas com o tempo prolongado, potencializam reações químicas e enzimáticas indesejáveis, como a oxidação de compostos fenólicos e a degradação de antioxidantes naturais. Dessa forma, o impacto direto dessas variáveis sobre a qualidade da geleia de guapeva ressalta a necessidade de um controle mais rigoroso durante o armazenamento. A manutenção de condições ideais é fundamental para assegurar que o produto final retenha suas propriedades desejáveis, tanto no aspecto sensorial quanto nutricional, prolongando sua validade e preservando seus benefícios à saúde.

REFERÊNCIAS

[1] ABOLILA, R. M.; BARAKAT, H.; EL-TANAHY, H. A.; EL-MANSY, H. A. Chemical, nutritional and organoleptical characteristics of orange-based formulated low-calorie jams. **Food and Nutrition Sciences**, v. 6, n. 13, p. 1229, 2015.

[2] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (2005). **Official Analytical Chemists**, Arlington.

[3] BARBOSA, P. F. P.; MENDONÇA, P. P.; ANDRADE, R. D. A.; AGUIAR, A. C. R.; CHAVES, A. R.; COSTA, A. B.; SILVA, F. G. Application of polymeric nanoparticles for controlled release of ethanolic extract of guapeva leaves (*Pouteria gardneriana* Radlk) against Riphicephalus (Boophilus) microplus through in vitro studies. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 49, p. 2778-2786, 2016.

[4] BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

[5] CARNEIRO, L. M.; PIRES, C. R. F.; LIMA, J. P.; PEREIRA, P. A. P.; LIMA, L. C. O. Avaliação da estabilidade de geleias de amora-preta acondicionadas em diferentes embalagens. **Journal of Bionergy and Food Science**, v. 3, n. 2, p. 89-102, 2016.

[6] DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R.; LAGE, M. E.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A.; PEREIRA, D. E. P.; VILAS BOAS, E. V. B. Study of the shelflife of a mixed araça (*Psidium guineensis* Sw.) and marolo (*Annona crassiflora* Mart.) jam. **Food Science and Technology**, v.32, p.334-343, 2012.

[7] ISTRATI, D.; VIZIREANU, C.; IORDACHESCU, G.; DIMA, F.; GARNAI, M. Physico-chemical characteristics and antioxidant activity of goji fruits jam and jelly during storage. **Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI--Food Technology**, v. 37, n. 2, 2013.

[8] KAMILOGLU, S.; PASLI, A. A.; OZCELIK, B.; VAN CAMP, J.; CAPANOGLU, E. Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. **Food chemistry**, v. 186, p. 74-82, 2015.

[9] KHOURYIER, H. A.; ARAMOUNI, F. M; HERALD, T. J. Physical, chemical and sensory properties of sugar-free jelly, Manhattan. **Journal of Food Quality**, Wastport, v. 28, n. 2, p. 179-190, 2005.

[10] MESQUITA, K. S.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S.; MENEZES, C. C.; MARQUES, G.R. Quality alterations during storage of sugar-free guava jam with added prebiotics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.37, p.806-813, 2013.

[11] MORAIS, R. A.; SOARES, C. M. D. S.; SILVA, R. R. D.; GUALBERTO, L. D. S.; FREITAS, B. C. B. D.; CARVALHO, E. E. N.; MARTINS, G. A. D. S. Formulation and evaluation of guapeva jam: nutritional properties, bioactive compounds, and volatile compounds during storage. **Food Science and Technology**, v. 42, p. e116321, 2022b.

[12] MORAIS, R. A.; TEIXEIRA, G. L.; FERREIRA, S. R. S.; CIFUENTES, A.; BLOCK, J. M. Nutritional composition and bioactive compounds of native Brazilian fruits of the Arecaceae family and its potential applications for health promotion. **Nutrients**, v. 14, n. 19, p. 4009, 2022a.

[13] MOTA, R. V. Caracterização física e química de geleia de amora-preta**. Food Science and Technology**, v. 26, n. 3, p. 539-543, 2006.

[14] NEVES, L. T. B. C.; CAMPOS, D. C. D. S.; MENDES, J. K. S.; URNHANI, C. O.; ARAÚJO, K. G. Quality of fruits manually processed of açaí (*euterpe oleracea* mart.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 729-738, 2015.

[15] OLIVEIRA, E. H. S.; MORAIS, R. A. OLIVEIRA, T. T. B.; MARTINS, G. A. S. Cajuí (*Anacardium Othonianum* Rizz). In: **Frutos do Cerrado: características e aplicações tecnológicas.** / Adriana Régia Marques de Souza, Clarissa Daminani, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Juliana Fonseca Moreira da Silva (organizadoras) - Curitiba: CRV, 2018. 148p.

[16] OLIVEIRA, M. C.; SANTANA, D. G.; SANTOS, C. M. Biometria de frutos e sementes e emergência de plântulas de duas espécies frutíferas do gênero Campomanesia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 446-455, 2012.

[17] PARK, S. J.; JANG, Y. A.; NOH, W.; OH, Y. H.; LEE, H.; DAVID, Y.; LEE, S. H. Metabolic engineering of Ralstonia eutropha for the production of polyhydroxyalkanoates from sucrose. **Biotechnology and bioengineering**, v. 112, n. 3, p. 638-643, 2015.

[18] PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; TIWARI, B. K.; BUTLER, F. Stability and degradation kinetics of bioactive compounds and colour in strawberry jam during storage. **Food and Bioprocess Technology,** v. 4, n. 7, p. 1245-1252, 2011.

[19] PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. **Analytical biochemistry**, v. 269, n. 2, p. 337-341, 1999.

[20] REICHEMBACH, L. H.; PETKOWICZ, C. L. O. Pectins from alternative sources and uses beyond sweets and jellies: An overview. **Food Hydrocolloids**, v. 118, p. 106824, 2021.

[21] RIEDEL, R.; BÖHME, B.; ROHM, H. Development of formulations for reduced-sugar and sugar-free agar-based fruit jellies. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 6, p. 1338-1344, 2015.

[22] ROTILI, M. C. C.; COUTRO, S.; CELANT, V. M.; VORPAGEL, J. A.; BARP, F. K.; SALIBE, A. B.; BRAGA, G. C. Composição, atividade antioxidante e qualidade do maracujá-amarelo durante armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 227-240, 2013.

[23] RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. D. G.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).** Comunidado tecnico 125, 2006.

[24] RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. D. G.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).** Comunidado tecnico 127, 2007.

[25] SANTOS, P. R. G.; CARDOSO, L. M.; BEDETTI, S. F.; HAMACEK, F. R.; MOREIRA, A. V. B.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANTANA, H. M. Geleia de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.): desenvolvimento, caracterização microbiológica, sensorial química e estudo da estabilidade. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 281-290, 2012.

[26] SCALZO, R. L.; IANNOCCARI, T.; SUMMA, C.; MORELLI, R.; RAPISARDA, P. Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. **Food chemistry**, v. 85, n. 1, p. 41-47, 2004.

[27] SHINWARI, K. J.; RAO, P. S. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 75, p. 181-193, 2018.

[28] SOARES, C. M. D. S.; MORAIS, R. A.; SILVA, R. R. D.; FREITAS, B. C. B. D.; MELO FILHO, A. A. D.; MARTINS, G. A. D. S. Development and optimization of the jam production process of *Pouteria cf. gardneriana* Radlk (guapeva). **Food Science and Technology**, v. 42, p. e00821, 2021.

[29] SOUSA, H. M. S.; LEAL, G. F.; SILVA GUALBERTO, L.; FREITAS, B. C. B.; GUARDA, P. M.; BORGES, S. V.; MARTINS, G. A. S. Exploration of the chemical characteristics and bioactive and antioxidant potential of tucumã (*Astrocaryum vulgare*), peach palm (*Bactris gasipaes*), and bacupari (*Garcinia gardneriana*) native Brazilian fruits. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-14, 2023.

[30] STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Análisis de vitaminas, métodos comprobados**. No. QP801. V5 S7e. 1967.

[31] TALMA, S. V.; REGIS, S. A.; FERREIRA, P. R.; MELLINGER-SILVA, C.; RESENDE, E. D. D. Characterization of pericarp fractions of yellow passion fruit: density, yield of flour, color, pectin content and degree of esterification. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 683-689, 2019.

[32] VIANA, E. D. S.; MAMEDE, M. E. D. O.; REIS, R. C.; CARVALHO, L. D. D.; FONSECA, M. D. Desenvolvimento de geleia de umbu-cajá convencional e dietética. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 708-717, 2015.

[33] WARTHESEN, J. J.; KRAMER, P. L. Analysis of sugars in milk and ice cream by high pressure liquid chromatography. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 2, p. 626-627, 1979.

[34] WATERHOUSE, A. L. Polyphenolies: determination of total phenolies. **Current protocls in food analytical chemistry**, v. 957, n. 1, p. 21-36, 2002.

CAPÍTULO

12 Índices de identidade e qualidade de óleos extraídos da polpa do puçá preto (*Mouriri pusa*) e parâmetros antinutricionais

Romilda Ramos da Silva, Maria Eduarda Silva Motta, Gabriela Fonseca Leal, Romulo Alves Morais, Glêndara Aparecida de Souza Martins

1. INTRODUÇÃO

A biodiversidade do Cerrado brasileiro é notavelmente rica e diversificada, composta por uma variedade impressionante de espécies nativas que desempenham um papel crucial no cenário global alimentar (MORAIS et al., 2022; MORAIS et al., 2024). Esse bioma tem ganhado destaque devido ao crescente interesse por dietas mais saudáveis e sustentáveis, que priorizam ingredientes naturais e nutritivos. Nesse contexto, as frutas tropicais da América do Sul emergem como um elemento de relevância tanto no mercado local quanto no internacional, apresentando um grande potencial econômico e nutricional (NERI-NUMA et al., 2018). Essas frutas são valorizadas não apenas por seu sabor e apelo sensorial, mas também por seus compostos bioativos, que desempenham um papel fundamental na promoção da saúde (BANWO et al., 2021). Estudos têm demonstrado que esses bioativos são eficazes na eliminação de radicais livres, o que contribui para a prevenção de doenças e para o fortalecimento do sistema imunológico. Além disso, essas frutas possuem reconhecidas atividades anti-inflamatórias e antimicrobianas, que foram documentadas em diversas pesquisas (SILVA et al., 2019; SOUZA et al., 2020). Assim, a valorização e a conservação das espécies nativas do Cerrado não apenas promovem a biodiversidade, mas também oferecem uma oportunidade significativa para o desenvolvimento de produtos alimentícios que beneficiam tanto a saúde humana quanto o bem-estar ambiental.

Dentre os frutos nativos do Cerrado, destaca-se o puçá-preto (*Mouriri pusa*), pertencente à família Melastomataceae e popularmente conhecido como jaboticaba-do-cerrado, coroa de frade ou croadinha. Este fruto é amplamente utilizado na medicina popular para o tratamento de úlceras gástricas (SANTOS et al., 2008). O puçazeiro é uma árvore frutífera de pequeno porte, variando entre 4 e 8 metros de altura, com um tronco curto e tortuoso, cuja superfície é coberta por fissuras longitudinais irregulares. Seus frutos são classificados como bagas, apresentando uma casca que pode ser arroxeada ou amarelada e contendo de uma a quatro sementes envoltas por uma polpa amarela. O puçá-preto floresce entre março e agosto, com a frutificação ocorrendo de julho a dezembro (SOARES et al., 2019). Apesar de sua importância, a literatura científica acerca do gênero Mouriri é escassa, especialmente no que diz respeito ao perfil químico. Estudos realizados por Vasconcelos et al. (2010) investigaram os efeitos do extrato rico em taninos e flavonoides das folhas de *Mouriri pusa*, constatando um efeito citoprotetor e cicatrizante no tratamento de úlceras gástricas, além de não apresentarem toxicidade nos parâmetros avaliados.

No entanto, dados sobre a composição nutricional e dados sobre a identidade e qualidade os óleos ainda não estão elucidados na literatura. Os índices de identidade e qualidade são parâmetros essenciais na avaliação de óleos vegetais, sendo fundamentais

para assegurar sua autenticidade e segurança para o consumo (LOZANO-CASTELLÓN et al., 2022). Entre os principais indicadores estão o índice de peróxidos, que mede o grau de oxidação primária dos lipídios; o índice de acidez, relacionado à quantidade de ácidos graxos livres resultantes da hidrólise de triglicerídeos; e o índice de iodo, que quantifica o grau de insaturação dos ácidos graxos presentes. A conformidade desses índices com padrões estabelecidos é crucial para garantir que o óleo mantenha suas propriedades nutricionais e sensoriais. Além disso, esses parâmetros são frequentemente utilizados para identificar adulterações e avaliar a estabilidade do produto durante o armazenamento. A degradação desses índices, por meio de processos como rancificação e oxidação, pode comprometer significativamente a qualidade do óleo, afetando tanto sua palatabilidade quanto sua segurança para o consumo humano (RODRIGUEZ-AMAYA; SHAHIDI, 2021).

Por outro lado, os compostos antinutricionais, presentes em diversos alimentos, são substâncias que interferem na biodisponibilidade de nutrientes essenciais, prejudicando o metabolismo humano (THAKUR; SHARMA; THAKUR, 2019). Dentre os mais comuns, destacam-se os fitatos, taninos, oxalatos e inibidores de enzimas proteolíticas, como a tripsina. Essas substâncias podem reduzir a absorção de minerais como cálcio, ferro e zinco, além de comprometer a digestibilidade de proteínas e carboidratos (SAMTIYA; ALUKO; DHEWA, 2020). Embora tenham efeitos adversos, a presença de compostos antinutricionais não é exclusivamente prejudicial, visto que muitos deles também exibem propriedades benéficas, como ação antioxidante e efeitos protetores contra doenças crônicas. O processamento adequado de alimentos, como a cocção, fermentação e germinação, pode reduzir significativamente os teores de compostos antinutricionais, melhorando o valor nutricional e funcional dos produtos alimentares (PETROSKI; MINICH, 2020).

Portanto, apesar de poucos estudos relacionados a caracterização químicas e fitoquímicas, dados sobre os índices de identidade e qualidades dos óleos obtidos da polpa do puçá preto, bem como resultados de análises de compostos antinutricionais ainda não foram relatados na literatura. Assim, de acordo com Silva et al. (2021), a pesquisa prospectiva é considerada um caminho preparatório, que permite o mapeamento informações de forma a auxiliar na determinação de estratégias de pesquisas e identificação de novas propriedades químicas e aplicações tecnológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Os frutos utilizados neste estudo foram coletados na região do Cerrado, especificamente no município de Palmas, Tocantins, Brasil, na área da Praia da Graciosa, durante o período compreendido entre outubro e dezembro de 2021. O local de coleta está situado a uma altitude de 260 metros acima do nível do mar, com coordenadas geográficas de 10°11’25.9” S de latitude e 48°21’36.9” W de longitude. A coleta dos frutos foi realizada de forma manual, seguindo um rigoroso processo de seleção com base no estágio de maturação e na condição de conservação dos frutos, o que permitiu a exclusão de espécimes verdes, danificados ou excessivamente maduros. Após a coleta, os frutos foram transportados para o Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos da Universidade Federal do Tocantins, onde foram submetidos a um processo de higienização utilizando água clorada a uma concentração de 100 ppm por um período de 15 minutos. Em seguida, a casca foi removida manualmente com o auxílio de facas, e as

sementes foram separadas da polpa utilizando um despolpador industrial. As frações obtidas—polpa, casca e sementes—foram armazenadas separadamente em sacos plásticos e congeladas a -18 °C para análises posteriores, conforme descrito por Morzelle et al. (2015).

2.2. PREPARO DA AMOSTRA

Para as análises realizadas neste estudo, foram utilizadas amostras na forma seca. Para o preparo das amostras, as frações de polpa, casca e semente foram retiradas do congelador e descongeladas lentamente em ambiente refrigerado. As amostras foram submetidas a um processo de secagem em estufas de circulação de ar forçada a uma temperatura de 50 °C por um período de 24 horas. Após esse processo, as partes secas foram trituradas utilizando um liquidificador doméstico e, em seguida, armazenadas em sacos plásticos protegidos da luz, e subestimadas ao congelamento a -18 °C, para futuras análises.

2.3. EXTRAÇÃO DE LIPIDIOS

O teor de extrato etéreo foi determinado através da extração com hexano, utilizando um aparelho extrator do tipo Soxhlet, equipado com um balão de fundo chato previamente seco e tarado. Foram utilizados cartuchos de papel de filtro contendo 5,0 g da amostra seca (semente), e o processo de extração foi realizado em triplicata durante um período de 6 horas. O teor de extrato foi calculado pela diferença de peso, com os resultados expressos em g/100 g de matéria seca, conforme metodologia do IAL (2008). Apenas o óleo extraído da semente seguiu para as demais etapas de identidade e qualidade dos óleos, devido ao baixo rendimento de extração das demais partes do fruto (polpa e cascas).

2.4. ÍNDICES DE IDENTIDADE E QUALIDADE DOS ÓLEOS OBTIDOS

2.4.1. ÍNDICE DE ACIDEZ

Para a determinação do índice de acidez, pesou-se 2 g da amostra de óleo, adicionou-se 25 mL de uma solução composta de éter e álcool na proporção de 2:1, além de duas gotas de solução indicadora de fenolftaleína a 1%. A titulação foi realizada com uma solução de hidróxido de sódio a 0,1 mol/L até que se observasse uma mudança de coloração para rosa persistente. Os resultados foram expressos em g/100 g de ácido oleico, seguindo as diretrizes do IAL (2008).

2.4.2. ÍNDICE DE PERÓXIDO

O índice de peróxido foi avaliado utilizando 5 g de amostra de óleo, ao qual foram adicionados 30 mL de uma solução de ácido acético-clorofórmio na proporção de 3:2. A mistura foi agitada e, após, 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio foi adicionada, deixando-se a amostra em repouso e protegida da luz por 1 minuto. Em seguida, foram adicionados 30 mL de água e a solução foi titulada com tiossulfato de sódio a 0,1 N, sob agitação contínua, até o desaparecimento da coloração amarela. Adicionou-se então 0,5 mL de solução indicadora de amido a 1% e a titulação foi continuada até que a cor azul desaparecesse completamente. Um branco foi preparado sob as mesmas

condições, e o resultado final foi expresso em miliequivalente por kg de amostra, conforme metodologia da AOCS (1990).

2.4.3. ÍNDICE DE REFRAÇÃO

Amostras de óleo foram filtradas para a remoção de impurezas. Em um refratômetro de Abbé calibrado com água, foram colocadas duas gotas do óleo no prisma inferior e deixadas em repouso por 2 minutos, permitindo que a amostra atingisse a temperatura do equipamento. A leitura foi realizada na escala do refratômetro para determinar o índice de refração absoluto a 40 °C, de acordo com as diretrizes da AOCS (1990) e IAL (2008).

2.4.4. ÍNDICE DE SAPONIFICAÇÃO

Pesou-se 4 g de amostra de óleo, ao qual foram adicionados 50 mL de uma solução alcoólica de hidróxido de potássio (KOH) a 4%. Um branco foi preparado sob as mesmas condições. A amostra foi saponificada completamente por um período de uma hora e, após esse tempo, foi resfriada lentamente. A adição de 1 mL de solução indicadora de fenolftaleína a 1% foi realizada, e a solução resultante foi titulada com ácido clorídrico a 0,5 mol/L até que o rosa desaparecesse. Os resultados foram expressos em mg de KOH/g de óleo, conforme descrito pela AOCS (1990).

2.5. COMPOSTOS ANTINUTRICIONAIS

2.5.1. COMPOSTOS CIANOGÊNICOS

A presença de ácido cianídrico nas amostras foi avaliada utilizando o teste de Guignard, uma técnica qualitativa destinada a confirmar a presença de cianetos em extratos potencialmente tóxicos. Para isso, pesou-se 2 g de amostra seca e triturada de cada fração (polpa, casca e semente), em triplicata. À amostra, foram adicionados 10 mL de água destilada; um controle foi preparado utilizando a semente de ameixa sem a cápsula. Uma tira de papel filtro, com 1 cm de largura, foi umedecida com solução de ácido pícrico a 1% e bicarbonato de sódio a 10%, e então suspensa na borda do erlenmeyer, sem contato direto com a amostra, durante um período de duas horas. O erlenmeyer foi vedado com filme plástico, e após esse tempo, se a superfície do papel apresentasse coloração avermelhada, indicaria a presença de cianeto na amostra, conforme metodologia de Araújo (2011).

2.6. DETERMINAÇÃO DE TANINOS

O conteúdo de taninos nas amostras foi determinado segundo os métodos propostos por Swain e Hillis (1959) e Singleton e Rossi (1965). Uma curva padrão foi estabelecida utilizando solução de ácido tânico com pureza de 99% em concentrações variando de 0,020 mg/mL a 0,100 mg/mL, combinada com reagentes de Folin-Denis e solução saturada de carbonato de sódio. A absorbância foi medida a um comprimento de onda de 760 nm, e a curva foi construída em um gráfico de absorbância em função de mg de ácido tânico, apresentando um R^2 de 0,9802. Para a análise, pesou-se 1,5 g de amostra seca e moída das frações de polpa, casca e semente, em triplicata. Foram aquecidos 150 mL de água destilada em um béquer até atingir 80 °C, e cada amostra foi infundida por 5

minutos, mantendo a temperatura e agitando periodicamente. A mistura foi transferida para um balão de 200 mL, completando-se o volume com água destilada. Após o resfriamento, o conteúdo foi filtrado e 10 mL do filtrado foram colocados em um balão de 100 mL, completando-se novamente com água destilada. Alíquotas da amostra foram pipetadas em tubos de ensaio e diluídas em diferentes volumes de água destilada. Foram adicionados 0,5 mL do reagente de Folin-Denis e 1,0 mL de solução de carbonato de sódio a cada tubo. As amostras foram homogeneizadas e deixadas em repouso por 30 minutos, após o que a absorbância foi medida a 760 nm, com os resultados expressos em mg de ácido tânico por 100 g de amostra.

2.7. DETERMINAÇÃO DE ALCALOIDES

A metodologia para detecção de alcaloides foi baseada nos procedimentos descritos por Barbosa et al. (2001). Para cada fração de polpa, casca e semente, foram utilizados 1 mL de extrato, diluído em 5 mL de solução de ácido clorídrico a 5%. A solução foi filtrada, e quatro porções de 1 mL foram transferidas para tubos de ensaio. Em seguida, foram adicionadas 5 gotas do reagente de Bouchardat, e os resultados foram avaliados. A formação de um precipitado de coloração laranja-avermelhada indicou um resultado positivo para a presença de alcaloides.

2.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram expressos em média ± desvio padrão, e quando necessário diferenças significativas foram testadas pelo teste de Tuckey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. RENDIMENTO DA EXTRAÇÃO E DADOS DE IDENTIDADE E QUALIDADE DOS ÓLEOS

Em relação aos lipídeos (Tabela 1), verificou-se que a polpa e a casca do puçá apresentam baixos teores dessa classe de compostos, com valores de 0,35 e 2,941 g/100 g, respectivamente. Esse comportamento está em consonância com o observado para frutas em geral. A semente, por outro lado, apresentou um conteúdo lipídico significativamente mais elevado (25,01 g/100 g), o que é comum em muitas plantas, já que o óleo é majoritariamente armazenado no endosperma das sementes (LU et al., 2018; SHAO et al., 2019). Esses teores e a composição dos óleos presentes nas sementes podem estar associados a fatores genéticos e metabólicos, demandando estudos mais detalhados para ampliar as possibilidades de uso da flora do Cerrado, com potencial aplicação na indústria de produtos funcionais.

Os parâmetros relacionados à qualidade do óleo extraído das sementes do puçá-preto estão descritos na Tabela 1. O índice de acidez e o índice de peróxidos são indicadores cruciais da qualidade do óleo, visto que valores reduzidos desses índices sugerem uma menor degradação. O óleo extraído a quente se adequa à Instrução Normativa nº 87 (BRASIL, 2021) no que tange ao limite máximo de acidez (4,0 mg KOH/g). Contudo, o índice de peróxidos foi superior ao valor máximo recomendado (15 meq KOH/Kg), apontando para uma possível degradação oxidativa.

Tabela 1 – Rendimento de extração e resultado das análises de identidade e qualidade os óleos da semente do puçá preto.

Análises	Polpa	Casca	Semente
Lipídeos (g/100 g)	0,35 ± 0,00	2,91 ± 0,01	25,01 ± 0,10
Índice de acidez (g/100 g de ácido oleico)	–	–	1,57 ± 0,46
Índice de refração absoluto	–	–	1,47 ± 0,00
Índice de peróxido (meq KOH/Kg)	–	–	112,37 ± 0,03
Índice de saponificação (mg KOH/g)	–	–	177,53 ± 2,05

Fonte: Próprio Autor

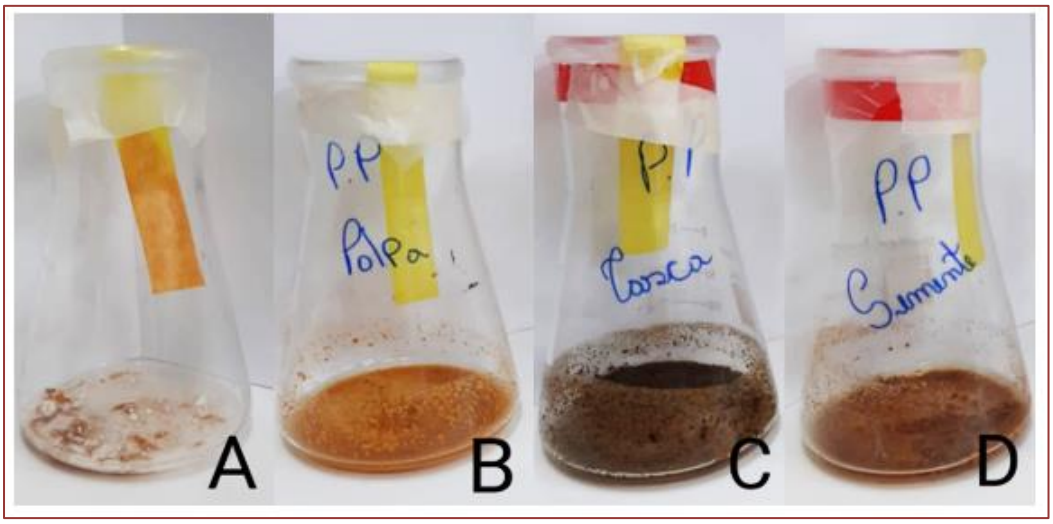
O índice de refração, por sua vez, está intimamente relacionado à estrutura dos glicerídeos e ao grau de saturação das ligações. Este parâmetro pode ser influenciado pela presença de ácidos graxos livres, processos de oxidação e exposição ao calor, servindo como indicador da pureza e da adulteração dos óleos (IAL, 2008). Quando comparado aos padrões do Codex Alimentarius (2019) para óleos vegetais poli-insaturados, como os de algodão (1,458-1,466), girassol (1,461-1,468) e soja (1,466-1,470), o óleo da semente de puçá-preto apresenta um índice de refração que se aproxima dessas faixas.

Outro parâmetro relevante para os óleos é o índice de saponificação, que reflete a proporção de ácidos graxos de menor peso molecular e atua como referência comparativa entre diferentes tipos de óleo. Esse índice também indica a quantidade de grupos carboxílicos presentes na amostra, sugerindo maior consumo de KOH e a predominância de triacilgliceróis esterificados com ácidos graxos dicarboxílicos. Um alto índice de saponificação pode sugerir a adequação do óleo para a produção de resinas ou outros produtos químicos derivados (CASTRO et al., 2021).

3.2. COMPOSTOS ANTINUTRICIONAIS

No que tange aos compostos antinutricionais, não foi detectada a presença de glicosídeos cianogênicos em nenhuma das frações analisadas do fruto (Fig. 1). Esses compostos, que são naturalmente encontrados em diversas plantas, desempenham um papel defensivo, sendo mais comuns em folhas e partes jovens das plantas. Quando ingeridos, podem ser convertidos em cianeto de hidrogênio (HCN), uma substância tóxica para os seres humanos (CRESSEY; REEVE, 2019). Assim, a ausência desses compostos no puçá-preto é um resultado positivo, indicando a ausência de toxicidade relacionada a essa classe de substâncias antinutricionais.

Figura 1 - Teste de cianogênicos nas frações polpa, casca e semente do puçá-preto. A: Controle semente de ameixa B: Polpa; C: Casca; D: Semente do fruto de puçá preto.



Fonte: Próprio Autor.

É importante ressaltar, no entanto, que a presença ou ausência de glicosídeos cianogênicos pode variar entre diferentes partes da planta e em diferentes estágios de maturação. Portanto, investigações adicionais sobre cada fração e estágio de desenvolvimento do fruto são essenciais para uma avaliação completa do potencial tóxico da espécie (YULVIANTI; ZIDORN, 2021), a fim de garantir sua segurança alimentar. Quanto ao teor de taninos, observou-se a maior concentração na semente, com 0,146 mg/100 mg, seguida pela polpa, com 0,126 mg/100 mg, e pela casca, que apresentou a menor concentração (0,115 mg/100 mg). Taninos são compostos fenólicos que desempenham papel de defesa nas plantas e podem exercer efeitos benéficos e prejudiciais na dieta humana. Apesar de possuírem propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias (FRAGA-CORRAL et al., 2020; SHARMA et al., 2021), em concentrações elevadas, podem interferir na absorção de nutrientes como ferro e zinco. Assim, o impacto dos taninos na saúde depende tanto da quantidade consumida quanto do método de preparo dos alimentos.

A análise qualitativa de alcaloides não indicou a presença desses compostos nas frações analisadas do fruto. Embora os alcaloides estejam amplamente presentes em muitas espécies vegetais e possam apresentar tanto propriedades farmacológicas quanto tóxicas, a ausência de detecção no puçá-preto sugere que esses compostos não são relevantes para essa espécie, ou que estão presentes em concentrações extremamente baixas, fora da sensibilidade dos métodos empregados (DEY; MUKHERJEE, 2018). Dessa forma, os alcaloides não representam um risco toxicológico ou nutricional significativo associado ao consumo desse fruto.

4. CONCLUSÃO

A análise de caracterização do óleo da semente, apresentou um óleo com uma maior quantidade de ácidos graxos insaturados, dentro dos padrões para acidez, porém com elevado índice de peróxido devido a oxidação e tratamento térmico utilizado. Mais

análises são necessárias para identificação dos ácidos graxos da composição do óleo extraído da semente do puçá. Por outro lado, a ausência de compostos antinutricionais significativos como glicosídeos cianogênicos e alcaloides, bem como a baixa concentração de taninos no puçá-preto, aponta para um perfil de segurança alimentar promissor, sugerindo o potencial do fruto para consumo sem riscos tóxicos consideráveis, desde que observadas as quantidades e métodos de preparo adequados.

REFERÊNCIAS

[1] AOCS - AMERICAN OIL CHEMISTS´ SOCIETY. **Official methods and recommended praticces of the American Oil Chemists` Society.** 4. ed. USA: AOCS, 1990.

[2] ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: Teoria e Prática**. Viçosa: Editora Viçosa: Universidae Federal de Viçosa, 2011.

[3] BANWO, K.; OLOJEDE, A. O.; ADESULU-DAHUNSI, A. T.; VERMA, D. K.; THAKUR, M., TRIPATHY, S.; UTAMA, G. L. Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101320, 2021.

[4] BARBOSA, W. L. R.; QUIGNARD, E.; TAVARES, C. I. C.; PINTO, N. L.; OLIVEIRA, Q. F.; OLIVEIRA, R. M. Manual para análise fitoquímica e cromatográfica de extratos vegetais. . **Revista Científica da UFPA**, v. 4, p. 1–19, 2001.

[5] BRASIL. Instrução Normativa nº 122, de 10 de setembro de 1999. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DO ABASTECIMENTO.** , Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 1999.

[6] BRASIL. RDC 269 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA)**, Brasília: Diário Oficial da União, 2005.

[7] CASTRO, R. C.; COSTA, L. F. S.; COSTA, L. M. D. A.; MARTINS, G. B. C. Extração e análise de propriedades físico-químicas do óleo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e24610817358, 2021.

[8] CODEX ALIMENTARIUS. STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS – CODEX STAN CXS 210-1999. *In*: 2019, **Standard of Codex Alimentarius Comission [Interne]**. *[S. l.: s. n.]* p. 1–6.

[9] CRESSEY, P.; REEVE, J. Metabolism of cyanogenic glycosides: A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 125, p. 225–232, 2019.

[10] DEY, A.; MUKHERJEE, A. Plant-Derived Alkaloids. *In*: **Discovery and Development of Neuroprotective Agents from Natural Products**. *[S. l.]*: Elsevier, 2018. p. 237–320.

[11] FRAGA-CORRAL, M.; GARCÍA-OLIVEIRA, P.; PEREIRA, A. G.; LOURENÇO-LOPES, C.; JIMENEZ-LOPEZ, C.; PRIETO, M. A.; SIMAL-GANDARA, J. Technological Application of Tannin-Based Extracts. **Molecules**, v. 25, n. 3, p. 614, 2020.

[12] IAL - INSTITUTO ADOLF LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos- 4ª Edição**. 1 ed. digital ed. São Paulo: Instituto Adolf Lutz, 2008.

[13] LOZANO-CASTELLÓN, J.; LÓPEZ-YERENA, A.; DOMÍNGUEZ-LÓPEZ, I.; SISCART-SERRA, A.; FRAGA, N.; SÁMANO, S.; PÉREZ, M. Extra virgin olive oil: A comprehensive review of efforts to ensure its authenticity, traceability, and safety. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 3, p. 2639-2664, 2022.

[14] LU, S.; STURTEVANT, D.; AZIZ, M.; JIN, C.; LI, Q.; CHAPMAN, K. D.; GUO, L. Spatial analysis of lipid metabolites and expressed genes reveals tissue-specific heterogeneity of lipid metabolism in high- and low-oil *Brassica napus* L. seeds. **The Plant Journal**, v. 94, n. 6, p. 915–932, 2018.

[15] MORAIS, R. A.; TEIXEIRA, G. L.; FERREIRA, S. R. S.; CIFUENTES, A.; BLOCK, J. M. Nutritional composition and bioactive compounds of native Brazilian fruits of the Arecaceae family and its potential applications for health promotion. **Nutrients**, v. 14, n. 19, p. 4009, 2022.

[16] MORAIS, R. A.; TEIXEIRA, G. L.; MARTINS, G. A. S.; FERREIRA, S. R. S.; BLOCK, J. M. Comprehensive evaluation of the chemical profile and antioxidant potential of buritirana (*Mauritiella armata*) an underexplored fruit from Brazilian Cerrado. **Food Research International**, v. 179, p. 113945, 2024.

[17] MORZELLE, M. C.; BACHIEGA, P.; SOUZA, E. C. DE; VILAS BOAS, E. V. D. B.; LAMOUNIER, M. L. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DE FRUTOS DE CURRIOLA, GABIROBA E MURICI PROVENIENTES DO CERRADO BRASILEIRO. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 96–103, 2015.

[18] NERI-NUMA, I. A.; SANCHO, R. A. S.; PEREIRA, A. P. A.; PASTORE, G. M. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food Research International**, v. 103, p. 345-360, 2018.

[19] PETROSKI, W.; MINICH, D. M. Is there such a thing as "anti-nutrients"? A narrative review of perceived problematic plant compounds. **Nutrients**, v. 12, n. 10, p. 2929, 2020.

[20] RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; SHAHIDI, F. Oxidation of lipids. In: **chemical changes during processing and storage of foods**. Academic Press, 2021. p. 125-170.

[21] SAMTIYA, M.; ALUKO, R. E.; DHEWA, T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 2, p. 1-14, 2020.

[22] SANTOS, F. V.; TUBALDINI, F. R.; CÓLUS, I. M. S.; ANDRÉO, M. A.; BAUAB, T. M.; LEITE, C. Q. F.; VILEGAS, W.; VARANDA, E. A. Mutagenicity of Mouriri pusa Gardner and Mouriri elliptica Martius. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 8, p. 2721–2727, 2008.

[23] SHAO, Q.; LIU, X.; SU, T.; MA, C.; WANG, P. New Insights Into the Role of Seed Oil Body Proteins in Metabolism and Plant Development. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019.

[24] SHARMA, K.; KUMAR, V.; KAUR, J.; TANWAR, B.; GOYAL, A.; SHARMA, R.; GAT, Y.; KUMAR, A. Health effects, sources, utilization and safety of tannins: a critical review. **Toxin Reviews**, v. 40, n. 4, p. 432–444, 2021.

[25] SILVA, A. J. B. da; SEVALHO, E. de S.; MIRANDA, I. P. de A. Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 1020–1046, 2021.

[26] SILVA, A. P. G. da; SPRICIGO, P. C.; PURGATTO, E.; ALENCAR, S. M. de; JACOMINO, A. P. Volatile Compounds Determined by SPME-GC, Bioactive Compounds, In Vitro Antioxidant Capacity and Physicochemical Characteristics of Four Native Fruits from South America. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, n. 3, p. 358–363, 2019.

[27] SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

[28] SOARES, C. M. S.; SILVA, R. R.; MORAIS, R. A.; OLIVEIRA, T. T. B. de. Puçá. *In*: RÉGIA, A. M.; DAMIANI, C.; MARTINS, G. A. S.; SILVA, J. F. M. (org.). **Frutos do Cerrado: características e aplicações tecnológicas**. 1. ed. Curitiba: Editora CRV, 2019. v. 1, p. 31–40.

[29] SOUZA, V. R.; ANICETO, A.; ABREU, J. P.; MONTENEGRO, J.; BOQUIMPANI, B.; JESUZ, V. A.; ELIAS CAMPOS, M. B.; MARCELLINI, P. S.; FREITAS-SILVA, O.; CADENA, R.; TEODORO, A. J. Fruit-based drink sensory, physicochemical, and antioxidant properties in the Amazon region: Murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) *Kunth* and *verbascifolia* (L.) DC) and tapereba (*Spondia mombin*). **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 5, p. 2341–2347, 2020.

[30] SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 63–68, 1959.

[31] THAKUR, A.; SHARMA, V.; THAKUR, A. An overview of anti-nutritional factors in food. **Int. J. Chem. Stud**, v. 7, n. 1, p. 2472-2479, 2019.

[32] VASCONCELOS, P. C. P.; ANDREO, M. A.; VILEGAS, W.; HIRUMA-LIMA, C. A.; PELLIZZON, C. H. Effect of Mouriri pusa tannins and flavonoids on prevention and treatment against experimental gastric ulcer. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 131, n. 1, p. 146–153, 2010.

[33] YULVIANTI, M.; ZIDORN, C. Chemical Diversity of Plant Cyanogenic Glycosides: An Overview of Reported Natural Products. **Molecules**, v. 26, n. 3, p. 719, 2021.

CAPÍTULO

13 Avaliação do teor alcoólico em fermentações realizadas por leveduras não-*saccharomyces*: uma revisão sistemática

Karoliny Carvalho Lysike, Yuri Vinicius da Silva, Alice Reis Figueiredo, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos

1. INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas mais populares e amplamente consumidas no mundo. Tradicionalmente, a cerveja é produzida a partir de quatro ingredientes fundamentais: uma fonte de amido (geralmente cevada maltada), lúpulo (que confere amargor e aroma), água (elemento essencial em sua composição) e levedura (responsável pela fermentação) (RIBEIRO et al., 2021). A indústria cervejeira no Brasil mostra um desempenho significativo nos últimos anos, apresentando crescimento do número de novas cervejarias, passando de 157 unidades em 2012, chegando para 1729 produtores em 2022, de acordo com os dados registrados no anuário da cerveja no Brasil do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2023). As leveduras utilizadas na fabricação de cerveja possuem características específicas que influenciam o perfil dos estilos clássicos de cerveja. Essas propriedades são resultado de um longo processo de domesticação, que pode ter durado milhares de anos, envolvendo seleção natural e artificial (GIBSON et al., 2020; AQUILANI et al., 2015; GONÇALVES et al., 2016).

O processo de produção da cerveja pode ser dividido em duas etapas principais: a quente e a fria. Inicialmente, na etapa quente, grãos de cereais maltados são moídos e misturados com água aquecida, permitindo que a maltose seja extraída do amido. Após essa extração, o líquido resultante é fervido com lúpulo, conferindo amargor e aromas característicos. Esse líquido é conhecido como mosto e serve como fonte de nutrientes para a levedura. Na transição para a etapa fria, o mosto é resfriado para iniciar a fermentação. A levedura é então introduzida, consumindo entre 50% e 80% dos açúcares e nutrientes e transformando-os em produtos de fermentação. Substâncias como proteínas não digeridas, oligossacarídeos e outros compostos permanecem no líquido. O conteúdo de açúcar nas cervejas varia conforme o processo de maltagem e brassagem, mas, geralmente, os mostos contêm cerca de 60% de maltose, 20% de glicose, 10% de maltotriose e 5% de uma combinação de sacarose e frutose (BRUNER & FOX, 2020; OLIVEIRA et al., 2005; ELE et al., 2014).

No contexto tecnológico atual, as leveduras são classificadas em dois principais grupos: *Saccharomyces* e não-*Saccharomyces*. Tradicionalmente, a produção de cerveja utiliza processos fermentativos com a espécie *Saccharomyces cerevisiae,* notória por ser a mais pesquisada e amplamente empregada, graças à sua notável capacidade de fermentação, crescimento acelerado e versatilidade de adaptação (MAICAS, 2020). *Saccharomyces cerevisiae* é um organismo eucarionte considerado amplamente seguro, usado há milênios na preparação de pães e na fermentação de bebidas alcoólicas, como cervejas e vinhos. Atualmente, esse organismo ganha relevância em pesquisas científicas, atuando como modelo em investigações sobre a resposta a estresses oxidativo, osmótico e alcoólico, além de desempenhar um papel fundamental na genética molecular. É notável

por ser o primeiro eucarionte cujo genoma foi sequenciado, e é utilizado para a comparação metabólica com células cancerosas (OSTERGAARD et al*.,* 2000; PARAPOULI et al., 2020). Essa levedura é reconhecida como produtora de etanol, capaz de fermentar de maneira eficiente diversos açúcares como glicose, frutose, manose, galactose, sacarose, maltose e maltotriose em etanol e dióxido de carbono. Isso se deve à sua habilidade de utilizar açúcares de forma anaeróbica, funcionando como doadores e aceptores de elétrons, além de servir como fonte de carbono (WALKER & STEWART, 2016).

Todavia, leveduras não-*Saccharomyces* têm ganhado destaque na produção de cerveja artesanal, contribuindo para a diversidade e complexidade dos aromas e sabores. Diferentemente da *Saccharomyces cerevisiae*, tradicionalmente utilizada na fermentação alcoólica, essas leveduras selvagens, como as dos gêneros *Brettanomyces, Lachancea*, e *Pichia*, podem metabolizar uma gama mais ampla de açúcares e produzir compostos fenólicos e ésteres que enriquecem o perfil sensorial da cerveja. A *Lachancea fermentati* é conhecida por apresentar resistência ao lúpulo e capacidade de fermentar açúcares complexos, tais como maltotriose, sem produzir sabores fenólicos indesejáveis. Isso possibilita a produção de cervejas de baixo teor alcoólico com perfis de sabor diferenciados e únicos, atendendo à demanda crescente por bebidas que apresentem maior qualidade sensorial e menor teor alcoólico (VILELA, 2018). Além disso, a *Cyberlindnera saturnus*, quando utilizada em fermentações controladas, pode propiciar a fermentação de forma que se tenham como resultado cervejas não alcoólicas com perfis aromáticos complexos, devido a sua capacidade de formar compostos voláteis como o (E)-β-damascenone (KIM et al., 2011).

Além disso, a utilização dessas leveduras pode resultar em cervejas com menor teor de álcool e maior acidez, proporcionando assim uma experiência gustativa única e diferenciada (BASSO. 2019). Salvo que a utilização de novas leveduras se mostra uma alternativa viável, uma vez que a substituição da cultura de levedura é uma das modificações mais simplórias de implementação pelas cervejarias, pois não requer investimentos em maquinário cervejeiro, o que faz com que seja acessível para cervejarias que possuem diferentes capacidades de produção (BELLUT & ARENDT, 2019). Contudo, seu uso requer controle rigoroso e conhecimento aprofundado do processo fermentativo para evitar sabores indesejados e garantir a qualidade do produto (MIGUEL et al., 2022).

Com base nessa premissa, torna-se importante selecionar e identificar métodos de controle de fermentação que sejam eficazes na determinação da concentração alcoólica gerada por leveduras não-*Saccharomyces,* considerando que o procedimento mais eficiente para uma determinada espécie pode não ser o mais adequado para outra. Esta abordagem é crucial para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados, conforme destacado por Bruner & Fox (2020). Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão sistemática da literatura a fim de identificar e comparar os métodos de controle de fermentação comumente utilizados na quantificação do teor alcoólico produzido por leveduras não-*Saccharomyces.*

2. METODOLOGIA

A revisão foi norteada seguindo as diretrizes do protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (SALAMEH et al., 2020), que tem por objetivo desenvolver uma diretriz de relatórios para revisões sistemáticas de instrumentos de medição de resultados possibilitando assim a reprodutibilidade, transparência e usabilidade na pesquisa (ELSMAN et al., 2022). Primeiramente, foi

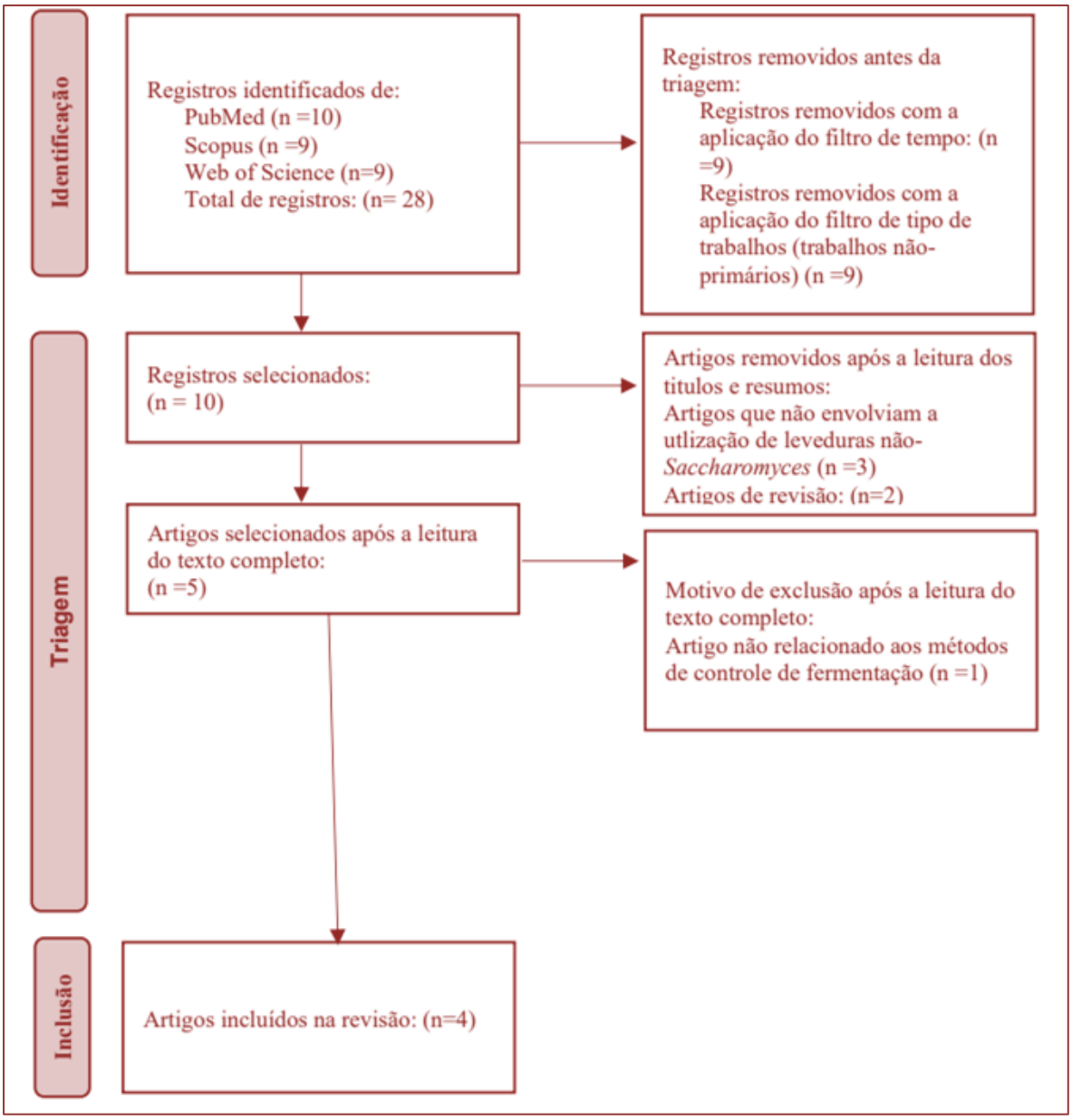
realizada uma busca piloto na literatura científica e em bancos de registro de protocolos de revisão a fim de identificar trabalhos com semelhanças, evitando a duplicidade de conteúdo. Em seguida, a pergunta de pesquisa foi elaborada utilizando a estratégia PICOT (Population, Intervention, Comparison, Outcome, Time), que envolve a formulação de questões norteadoras para aprimorar as práticas baseadas em evidências, assim como é feita para orientar a pesquisa e auxiliar na identificação dos estudos (MCCLINTON, 2022). A pergunta formulada foi: "*Quais métodos de avaliação do teor alcoólico são comumente utilizados para identificar o teor alcoólico de fermentações realizadas por leveduras não-Saccharomyces?*". Com a pergunta norteadora definida, foram selecionadas as bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science para a realização da pesquisa por artigos. Para a busca nas bases de dados, utilizou-se a seguinte string de busca: "non-*Saccharomyces*" AND "beer" AND "analysis". Os critérios de utilização para os estudos foram definidos da seguinte forma: critérios de inclusão: estudos primários completos, artigos publicados entre janeiro de 2020 e junho de 2024, artigos escritos em inglês, artigos revisados por pares, estudos que sejam a respeito de fermentações realizadas por leveduras não-*Saccharomyces* e do processo de identificação e comparação dos métodos utilizados para quantificação do teor alcoólico produzido pela fermentação de leveduras não-*Saccharomyces.* Critérios de exclusão: revisões de literatura e meta-análises, resumos, trabalhos de conclusão de curso e capítulos de livros, artigos classificados como Discussão, Comentários e Opiniões e estudos que utilizem outras espécies de leveduras que não as não-*Saccharomyces*. Durante o processo de triagem dos artigos, foram aplicados filtros disponibilizados pelos próprios bancos de dados para pré-selecionar estudos que atendiam aos critérios de inclusão, como data de publicação e tipo de estudo. Posteriormente, os artigos resultantes foram submetidos a leitura do título e resumo, a fim de identificar aqueles que cumpriam os demais critérios especificados. Os artigos incluídos foram submetidos a leitura na íntegra. As principais informações extraídas dos artigos selecionados foram organizadas e sintetizadas nos resultados e discussão, com o objetivo de responder à pergunta norteadora e atender aos objetivos da revisão sistemática. As informações coletadas incluíram dados como título do trabalho, autores, métodos de avaliação do teor alcoólico em fermentações realizadas por leveduras não-*Saccharomyces*, processo de identificação e comparação dos métodos de controle de fermentação, entre outros aspectos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. SELEÇÃO DE ARTIGOS

A pesquisa realizada nas bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science identificou 28 artigos relevantes. Destes, 18 foram descartados após a aplicação de filtros específicos, restando 10 para análise preliminar de títulos e resumos. Metade destes foi eliminada por não cumprir os critérios de inclusão estabelecidos. Portanto, 5 artigos avançaram para a avaliação integral do conteúdo. Após aplicação dos critérios de elegibilidade, 4 artigos foram selecionados para compor a revisão sistemática. O fluxo de seleção pode ser visualizado no diagrama subsequente.

Figura 1. Identificação de estudos por meio de bases de dados.



Fonte: Próprio autor, 2024.

Leveduras selvagens apresentam uma habilidade diversificada no aproveitamento de açúcares presentes no mosto, sendo que várias espécies se limitam ao consumo de glicose e frutose, que são menos abundantes. Esta particularidade representa uma vantagem para cervejeiros que almejam criar cervejas de baixo teor alcoólico. Entre as espécies que se destacam para tal finalidade estão *Cyberlindnera saturnus, Mrakia gelida, Pechai kudriavzevii,* entre outras, que podem contribuir positivamente tanto para a produção de cervejas com menor graduação alcoólica quanto para a bioaromatização (BELLUT & ARENDT, 2019). Contudo, é importante reconhecer que a domesticação dessas leveduras pode requerer esforços adicionais para mitigar certas limitações inerentes à sua natureza selvagem. Por exemplo, pode ocorrer a produção excessiva de

compostos aromáticos como o acetato de etila ou problemas de floculação, demandando processos como filtração ou centrifugação (DOUGLASS et al., 2018; GIBSON et al., 2020).

A tabela a seguir dispõe de informações sobre os artigos incluídos na revisão, como título, objetivos, cepa das leveduras não-*Saccharomyces* utilizadas e a referência bibliográfica.

Tabela 1. Estudos publicados sobre leveduras não-*Saccharomyces* em fabricação de cerveja.

Estudo	Título do artigo	Objetivo	Espécie	Referências
1	Brewing a Craft Belgian-Style Pale Ale Using *Pichia kudriavzevii* 4A as a Starter Culture	Elaborar uma cerveja artesanal do tipo Belgian-style Pale Ale utilizando a levedura não-*Saccharomyces Pichia kudriavzevii* 4A como cultura inicial e cevada maltada como único substrato.	*Pichia kudriavzevii*	(Nieto-Sarabia et al., 2023)
2	Brewing potential of strains of the boreal wild yeast *Mrakia gelida*	Investigar o potencial de fermentação de diferentes cepas da levedura Mrakia gelida, originárias de florestas finlandesas, para a produção de cervejas com baixo teor alcoólico.	*Mrakia gelida*	(Linnakoski et al., 2023)
3	Investigation into the Potential of Lachancea fermentati Strain KBI 12.1 for Low Alcohol Beer Brewing	Potencial da Cepa para criar cervejas com características únicas e sabor azedo.	*Lachancea fermentati*	(Bellut et al., 2020)
4	Influence of Varying Fermentation Parameters of the Yeast Strain Cyberlindnera saturnus on the Concentrations of Selected Flavor Components in Non-Alcoholic Beer Focusing on (E)-β-Damascenone	Otimizar os parâmetros de fermentação para maximizar a frutuosidade da cerveja, minimizando sabores indesejáveis e o teor de álcool.	*Cyberlindnera saturnus*	(Methner et al., 2022)

Fonte: Próprio Autor, 2024.

3.2. ESTUDO 1

No estudo conduzido por Nieto-Sarabia et al. (2023), o processo de identificação e avaliação do teor alcoólico em fermentações por leveduras envolveu uma série de etapas. Primeiramente, a levedura *Pichia kudriavzevii* 4A foi isolada do solo de um campo de cana-de-açúcar e identificada por meio de testes moleculares. Quanto às condições de cultivo mencionadas no estudo, durante a germinação do malte, utilizaram-se 200 g de sementes de cevada, que foram limpas com água destilada e embebidas em água por 24 horas. Após esse período, as sementes foram colocadas em bandejas em uma sala com 90% de

umidade relativa a 20 °C por 120 horas. Posteriormente, as sementes foram secas em um forno a 60 °C por 72 horas e moídas para obter um tamanho de partícula inferior a 0,5 mm. A preparação do mosto envolveu uma suspensão de malte de cevada germinada em água, mantida por 4 dias (proporção 1:15 p/v), aquecida a 65 °C sob agitação constante a 140 rpm por 1 hora e, após decantação, filtrada.

Durante a fermentação propriamente dita, utilizou-se a levedura *Pichia kudriavzevii* 4A como cultura inicial, e o processo ocorreu por 7 dias a 25 °C em um fermentador de aço inoxidável, onde o mosto enriquecido foi inoculado com a biomassa da levedura. A biomassa foi extraída por sedimentação, e o teor de etanol foi ajustado para aproximadamente 5% v/v adicionando água e essa concentração foi determinada usando um hidrômetro de álcool.

Os métodos de identificação e quantificação do teor alcoólico durante a fermentação incluíram a quantificação de glicose, utilizando o método enzimático do teste de glicose oxidase/peroxidase para determinar a concentração de glicose no mosto, bem como a avaliação dos açúcares totais por meio do método do ácido sulfúrico modificado por DuBois. Além disso, a biomassa foi medida por peso seco, e a concentração de etanol na bebida fermentada foi determinada usando um hidrômetro alcoólico. Esses métodos foram aplicados para monitorar o consumo de substrato (glicose e açúcares totais) e a produção de etanol pela levedura *Pichia kudriavzevii* 4A durante todo o processo de fermentação. Além disso, o estudo incluiu análises físico-químicas e microbiológicas para assegurar a conformidade com as diretrizes nacionais e internacionais para garantir a qualidade e a inocuidade da cerveja artesanal produzida.

3.3. ESTUDO 2

No estudo de Linnakoski et al., (2023), as cepas de *Mrakia gelida* foram isoladas de cascas de árvores na Finlândia e identificadas por meio da sequência do gene ITS. Métodos filogenéticos confirmaram sua identidade. Para o cultivo, as cepas foram cultivadas em pequena escala em mosto de cerveja a 10°C. Uma cepa promissora foi selecionada para fermentação em escala piloto, realizada a 10°C por 6 dias, seguida de maturação a 4°C. A análise sensorial das cervejas produzidas revelou perfis comparáveis às da levedura de referência, com notas frutadas detectáveis. Além disso, avaliou-se a resistência das cepas a extremos de temperatura, desinfetantes, conservantes e agentes antifúngicos, indicando baixo risco à higiene do processo e à segurança ocupacional. Para identificar o teor alcoólico, os métodos utilizados incluíram:

1. Medição de Gravidade Específica: Utilizando um densímetro Anton Paar DMA 5000 M com módulos Alcolyzer Beer ME e pH ME para determinar a gravidade específica, o nível de álcool (% v/v) e o pH das amostras.
2. Cromatografia Gasosa: Análise por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (HS-GC-FID) para determinar compostos aromáticos derivados da levedura, como acetaldeído, álcoois superiores e ésteres.
3. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC): Medição da concentração de açúcares fermentáveis (glicose, frutose, maltose e maltotriose) nas cervejas engarrafadas.
4. Análise Sensorial: Realizada por um painel treinado para avaliar impressões de sabor, variando de 1 (quase sem percepção) a 5 (percepção muito alta).

As cepas de *Mrakia gelida* foram capazes de produzir cerveja com um teor alcoólico médio de 0,7%, semelhante à cepa de controle *Saccharomycodes ludwigii*, e foi completamente inibida por conservantes comuns como sorbato e benzoato. Os resultados indicam que *M. gelida* tem potencial para a produção de cervejas de baixo teor alcoólico com perfis sensoriais desejáveis. Esses métodos de controle de fermentação garantem a qualidade desejada nas cervejas finais.

3.4. ESTUDO 3

A pesquisa realizada por Bellut et al. (2020) focou na cepa *Lachancea fermentati* KBI 12.1, isolada de kombucha, e seu uso na fabricação de cervejas de baixo teor alcoólico. A identificação da levedura foi feita através da amplificação e sequenciamento do domínio D1/D2 do gene 26S rRNA, com subsequente comparação no NCBI via BLAST. As cepas foram cultivadas em placas de ágar dextrose de batata (PDA) por 48-72 horas a 25 °C e armazenadas a 4 °C. Para a propagação, utilizou-se mosto composto de 75 g/L de extrato de malte seco e 30 g/L de glicose, esterilizado a 121 °C por 15 minutos.

O controle da fermentação foi meticuloso, monitorando-se a redução do extrato, pH, contagem de células, utilização de açúcar e produção de ácido lático. As análises finais das cervejas incluíram a determinação de nitrogênio livre de aminoácidos (FAN), aminoácidos e metabólitos secundários. A fermentação prosseguiu até a estabilização do extrato. Para as análises, utilizaram-se técnicas como HPLC para quantificar açúcares e etanol, e um densímetro DMA 4500 M com Alcolyzer Beer ME para medir gravidade específica e conteúdo de etanol. O ácido lático foi medido via HPLC com detector de arranjo de diodos (DAD).

A cepa KBI 12.1 se destacou por não utilizar maltotriose, não produzir sabores fenólicos indesejáveis, ter menor sensibilidade ao lúpulo e bom desempenho propagativo. A produção de 1,3 g/L de ácido lático conferiu à cerveja um sabor azedo e frutado, evidenciando o potencial da cepa para cervejas de baixo teor alcoólico (apenas 3,0% ABV), com perfil de sabor único e redução da necessidade de acidificação adicional. Esses resultados sublinham a adequação da levedura para a produção de cervejas não alcoólicas e de baixo teor alcoólico, com características promissoras para a indústria cervejeira.

3.5. ESTUDO 4

O estudo de Methner et al. (2022) explorou a fermentação da levedura *Cyberlindnera saturnus* TUM 247, isolada do solo e identificada por sequenciamento de DNA 26S rDNA. A propagação ocorreu em mosto não lupulado a 20 °C, com fermentação em mosto esterilizado para prevenir contaminação. A otimização dos parâmetros de fermentação foi realizada através da metodologia de superfície de resposta (RSM) com um desenho composto central para variar a temperatura de fermentação, gravidade original e taxa de inoculação.

Análises estatísticas, como ANOVA e teste t de uma amostra, foram aplicadas para avaliar a influência desses parâmetros na formação de compostos de sabor e no conteúdo de etanol. Além disso, métodos analíticos padrão para mosto e cerveja, como cromatografia gasosa-espectrometria de massa (GC-MS), foram usados para identificar e quantificar os metabólitos secundários, incluindo o (E)-β-damascenone, que contribuíram para sabores frutados e florais, e a concentração de etanol foi mantida

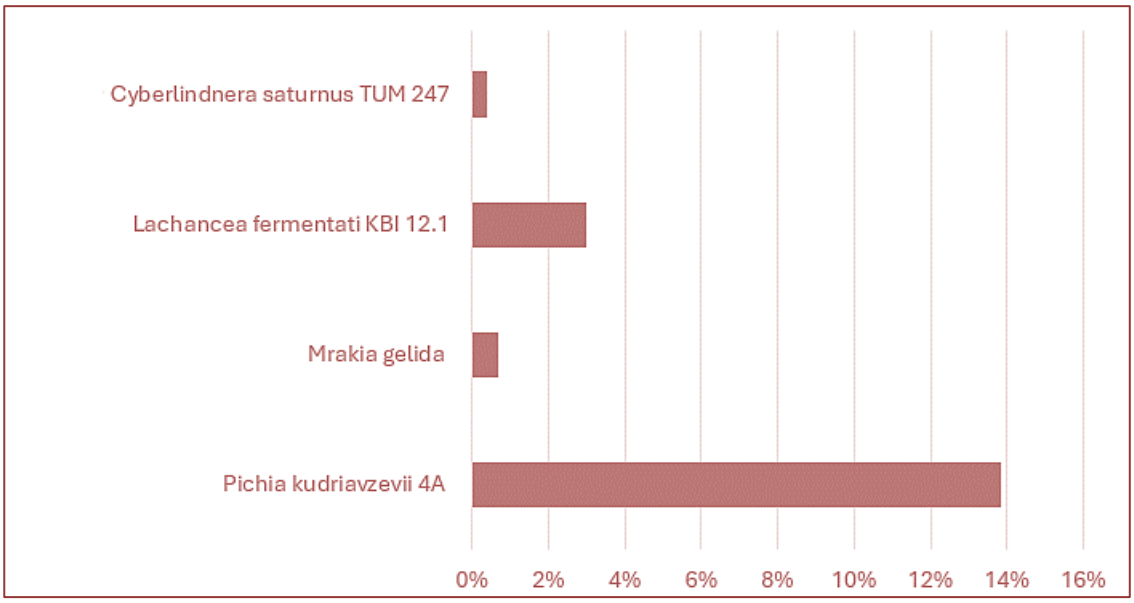
abaixo de 0,5% (v/v), visando uma cerveja não alcoólica com perfil de sabor único e complexidade aromática. Os métodos analíticos asseguraram a identificação precisa dos compostos voláteis, influenciando diretamente as características sensoriais da bebida.

4. AVALIAÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO DAS FERMENTAÇÕES APRESENTADAS

A avaliação da fermentação para identificar e quantificar o teor alcoólico de fermentações utilizando leveduras em estudos científicos revela avanços significativos na biotecnologia de bebidas. O estudo de Nieto-Sarabia et al., (2023) destaca a levedura *Pichia kudriavzevii* 4A pela sua alta eficiência na fermentação, alcançando um consumo de açúcar de 89,7% e produção de etanol de 13,84% v/v. Este estudo também enfatiza a importância de monitorar a biomassa para refletir a conversão eficiente de substratos, além de cumprir com os padrões regulatórios através de análises físico-químicas. As avaliações sensoriais indicam uma preferência pelas qualidades refrescantes e sabores frutados da levedura, superando amostras comerciais. Por outro lado, o estudo de Linnakoski et al., (2023) com a levedura *Mrakia gelida,* focou no controle de fermentação para cervejas de baixo teor alcoólico. A *M. gelida* se destaca por consumir apenas açúcares simples, o que limita a produção de álcool de 0,7% v/v, mantendo a eficiência comparável à cepa tradicional *Saccharomycodes ludwigii.* As avaliações sensoriais foram positivas, destacando a ausência de sabores indesejáveis e a presença de notas frutadas, além de um rigoroso teste de segurança que garante a viabilidade da levedura em condições extremas. A pesquisa de Bellut et al., (2019) introduz a cepa *Lachancea fermentati* KBI 12.1, que permite a criação de cervejas de baixo teor alcoólico através da fermentação de açúcares do mosto sem utilizar maltotriose. Esta cepa também apresenta resistência ao lúpulo e boa propagação, resultando em cervejas com sabores azedos e frutados, ideais para consumidores que buscam opções com menos álcool, apresentando 3%v/v de concentração de etanol. Finalmente, a pesquisa de Methner et al., (2022) sobre a levedura *Cyberlindnera saturnus* TUM 247 inovou no campo da fermentação de cerveja para bebidas não alcoólicas, apresentando um percentual de >0,5%v/v de concentração de etanol.

O gráfico a seguir dispõe sobre os diferentes percentuais alcoólicos oriundos das fermentações realizadas por leveduras não-*Saccharomyces.*

Gráfico 1. Teor alcoólico obtido através de fermentações utilizando as leveduras *Pichia kudriavzevii 4A*, *Mrakia gélida*, *Lachancea fermentati KBI 12.1* e *Cyberlindnera saturnus TUM 247*.



Fonte: Próprio Autor, 2024.

A aplicação da Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) e técnicas avançadas permite um controle preciso do processo fermentativo. A caracterização dos compostos de sabor, como o (E)-β-damascenone, contribui para a criação de bebidas com perfis sensoriais complexos e agradáveis.

Em resumo, cada um desses estudos contribui para o entendimento e aprimoramento dos processos de fermentação, oferecendo insights valiosos para a indústria de bebidas e para a ciência de leveduras. A escolha adequada do método para avaliação do teor alcoólico durante a fermentação depende do objetivo final da produção, seja ele maximizar o teor alcoólico ou criar bebidas com baixo teor alcoólico, sempre considerando as características sensoriais desejadas e a conformidade com os padrões de segurança alimentar.

A utilização de leveduras não-*Saccharomyces* na produção de cerveja industrial apresenta um potencial significativo para a inovação de protótipos e a oferta de produtos mais saudáveis e seguros. Esta tendência é sustentada por rigorosas medidas de segurança alimentar aplicadas ao longo da cadeia produtiva. Espera-se que a diversidade de leveduras não-*Saccharomyces* disponíveis no mercado continue a expandir nos próximos anos, conforme destacado por Miguel (2022) e corroborado por estudos de Catallo et al. (2020) e Gschaedler (2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, esta revisão sistemática destacou o papel crucial das leveduras não-*Saccharomyces* na produção de cerveja e como a biotecnologia pode revolucionar essa prática ancestral. A microfabricação (processo artesanal) e a demanda por variedades de cerveja mais diversificadas abrem caminho para a exploração de cepas de leveduras não

tradicionais, promovendo uma era de inovação no campo cervejeiro. Essas novas cepas podem não apenas enriquecer o perfil de sabor da cerveja, mas também atender às preferências em constante mudança dos consumidores, demonstrando que a cervejaria é tanto uma arte quanto uma ciência. Portanto, a pesquisa contínua e a colaboração entre cientistas e cervejeiros serão essenciais para o desenvolvimento de produtos que não só respeitem a tradição, mas também abracem o potencial ilimitado da biotecnologia.

REFERÊNCIAS

[1] AQUILANI, B., LAURETI, T., POPONI, S., SECONDI, L. (2015). Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: an exploratory study of consumer preferences. Food Quality and Preference, 41, 214–224.

[2] BASSO, R. F. Caracterização de leveduras não convencionais para produção de cervejas. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2019.

[3] BELLUT, K., ARENDT, E.K. (2019). Chance and challenge: non-Saccharomyces yeasts in nonalcoholic and low alcohol beer brewing: a review. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 77, 77–91.

[4] BRUNER, J., FOX, G. (2020). Novel Non-Cerevisiae Saccharomyces Yeast Species Used in Beer and Alcoholic Beverage Fermentations. Fermentation, 6, 116.

[5] DOUGLASS, A.P., et al. (2018). Population genomics shows no distinction between pathogenic Candida krusei and environmental Pichia kudriavzevii: one species, four names. PLOS Pathogens, 14(11), e1007138.

[6] ELE, Y., et al. (2014). Composição do mosto e seu impacto no aroma-ativo, maior teor alcoólico e formação de éster da cerveja - Uma revisão. Journal of the Institute of Brewing.

[7] ELSMAN, E. B. M. et al. Study protocol for developing, piloting and disseminating the PRISMA-COSMIN guideline: a new reporting guideline for systematic reviews of outcome measurement instruments. Systematic reviews, v. 11, p. 121, 2022.

[8] GONÇALVES, M., et al. (2016). Distinct domestication trajectories in top-fermenting beer yeasts and wine yeasts. Current Biology, 26, 2750–2761.

[9] GIBSON, B., et al. (2020). Adaptive Laboratory Evolution of Ale and Lager Yeasts for Improved Brewing Efficiency and Beer Quality. Annual Review of Food Science and Technology, 11, 23–44.

[10] KIM, H. S. et al. Identification of novel genes responsible for ethanol and/or thermotolerance by transposon mutagenesis in Saccharomyces cerevisiae. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 91, n. 4, p. 1159–1172, Ago 2011. DOI:10.1007/s00253-011-3298-z.

[11] LINNAKOSKI, R., JYSKE, T., EERIKÄINEN, R., VETELI, P., CORTINA-ESCRIBANO, M., MAGALHÃES, F., JÄRVENPÄÄ, E., HEIKKILÄ, L., HUTZLER, M., & GIBSON, B. (2023). Brewing potential of strains of the boreal wild yeast Mrakia gelida. *Frontiers in Microbiology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1108961.

[12] MAICAS, S. “O Papel das Leveduras nos Processos Fermentativos.” Microrganismos 2020, 8, 1142. DOI: 10.3390/microorganisms8081142.

[13] MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário da Cerveja 2022. Brasília, DF: 2023.

[14] MCCLINTON, T. D. A guided search: formulating a PICOT from assigned areas of inquiry. Worldviews on Evidence-Based Nursing, v. 19, p. 426-427, 2022.

[15] METHNER, Y.; HUTZLER, M.; MATOULKOVÁ, D.; JACOB, F.; MICHEL, F. “Screening for the brewing ability of different non-Saccharomyces yeasts.” Fermentation, 5 (2022). DOI: 10.3390/fermentation5040101

[16] MIGUEL, G. A.; CARLSEN, S.; ARNEBORG, N.; SAERENS, S.M.G. "Non-*Saccharomyces* yeasts for beer production: Insights into safety aspects and considerations." Int. J. Food Microbiol., Volume 383, 2022, 109951. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109951

[17] NIETO-SARABIA, V.L.; OLIVEIRA, G.; OLIVEIRA, C.B.; GARCÍA-GARCÍA, F.A.; OLIVEIRA, J.A.; OLIVEIRA, C.M.; CRISTIANI-URBINA, E.; MORAES-BARRERA, L.; Preparando uma cerveja artesanal de estilo belga Pale Ale usando *Pichia kudriavzevii* 4A como uma cultura inicial. *Microrganismos* **2023**, *11*, 977. https://doi.org/10.3390/microorganisms11040977.

[18] OLIVEIRA, A.; OLIVEIRA, A.; BACK, W. "Enriquecimento de xantohumol no processo de fabricação de cerveja." Nutr. Alimentos Res. 2005, 49, 874–881.

[19] OSTERGAARD S, OLSSON L, NIELSEN J. Metabolic engineering of Saccharomyces cerevisiae. Microbiol Mol Biol Rev; 64(1): p. 34–50. 2000.

[20] PARAPOULI M, VASILEIADIS A, AFENDRA AS, HATZILOUKAS E. Saccharomyces cerevisiae and its industrial applications. AIMS Microbiol. Feb 11;6(1):1-31. doi: 10.3934/microbiol.2020001. 2020.

[21] RIBEIRO, D.K.; PÉREZ-ALVA, A.; OLIVEIRA, M.A.; OLIVEIRA, A.; RAMÍREZ-RODRIGUES, M.M. "Estudo comparativo dos perfis polifenólicos e de aminoácidos de cervejas comerciais de frutas." J. Composto de Alimentos. 2021, 100, 103921.

[22] SALAMEH, J.-P., BOSSUYT, P.M., MCGRATH, T.A., THOMBS, B.D., HYDE, C.J., et al., (2020). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy studies (PRISMA-DTA): Explanation, elaboration, and checklist. *BMJ*, 370, M2632.

[23] VILELA, A. Lachancea thermotolerans, the Non-Saccharomyces Yeast that Reduces the Volatile Acidity of Wines. Fermentation, v. 4, n. 3, p. 56, 19 jul. 2018.

[24] WALKER G. M , STEWART G.G. Saccharomyces cerevisiae in the Production of Fermented Beverages. Beverages. p. 2, 30. 2016.

CAPÍTULO

14

Principais metodologias analíticas aplicadas para a caracterização do fruto rambutan (*Nephelium lappaceum L.*): uma revisão sistemática

Alice Reis Figueiredo, Yuri Vinicius da Silva, Karoliny Carvalho Lysike, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Jucimara Silva, Emerson Adriano Guarda, Patrica Martins Guarda, Clarrissa Damiani

1. INTRODUÇÃO

O Rambutan (*Nephelium lappaceum L.*) é conhecido por seu sabor característico de refrescância e aparência exótica, tido como um fruto com elevado teor de proteínas, antioxidantes e compostos fenólicos. O Rambutan é constituído por 100% de peso total, sendo 45,7% em casca, 44,8% em polpa, 9,5 % em semente e 6,1% em embrião, podendo ser consumida in natura, processada ou até enlatada em calda. (ESTRADA-GIL *et al*, 2022); (SILVA *et al*, 2023); (HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, 2020).

Pertencentes à família *Sapindaceae* o Rambutan (*Nephelium lappaceum L.*) é uma fruta tropical popular em todo o mundo. São cultivados principalmente na Tailândia, Malásia, Indonésia e México para os mercados domésticos e de exportação em todo o mundo, obtendo alto valor de mercado devido aos seus compostos nutricionais e antioxidantes naturais (HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ *et al*., 2019).

A Indonésia produz muitas variedades de Rambutan, podendo ser encontradas mais de 20 variedades. Estes frutos têm formato oval e a casca é verde, amarela, ou vermelha quando amadurece. Normalmente, depois do consumo do fruto a casca é considerado um resíduo e o seu descarte pode causar problemas ambientais já que segundo Jantapaso (2022) destaca que por ser uma fruta versátil, o Rambutan possui quantidade significativa de cascas, o que gera muitos resíduos, porem sabe-se que esse coproduto é rico e atividade antioxidantes, possuindo elementos minerais e compostos biologicamente ativos, podendo ser utilizado em formulações farmacêuticas, nutracêuticas e até cosméticas (CHAI; GHAZALI, 2021).

O *Nephelium lappaceum L*. (Rambutan), é uma fruta tropical comumente processada na indústria alimentícia e suas porções não comestíveis são normalmente descartadas. No entanto, esses resíduos foram reconhecidos como viáveis para aumentar o valor para a utilização como nutracêuticos, medicamentos e indústrias na última década. A casca do Rambutan foi considerada uma das fontes alternativas de antioxidantes fenólicos, particularmente com a presença de geranína e outros componentes menores, incluindo corilagina, ácido elágico e ácido gálico constituintes nas cascas. Podendo ter funções biológicas que podem ser aplicadas a propósitos nutracêuticos e farmacológicos. (THITILERTDECHA, 2022).

A sua semente marrom-clara foi comprovada como sendo segura para consumo humano, pois não é tóxica. Não bastando, a semente do Rambutan contém uma grande quantidade de gorduras que variam de 33,4% a 37,35%. Os principais ácidos graxos encontrados são os ácidos oleico e araquídico, que variam de 33,1 a 43,09% e 31,53 a 42,5%, respectivamente (JAHURUL, M. *et al.* 2020).

Alguns estudos mostraram que os subprodutos de *N. lappaceum* apresentam propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antidiabéticas e anticancerígenas. No entanto, estudos focados na identificação desses compostos são raros. A disponibilidade de compostos polifenólicos pode variar de acordo com as condições ambientais, solo, variedade da planta e manejo agronômico. E tambem, o uso de solventes para extração e técnicas de análises diferem bastante (MONRROY,; ARAÚZ,; GARCÍA, 2020).

Tendo uma grande aplicabilidade de derivados para a polpa do rambutan, obtendo diversos produtos comerciais como geleias, licores, frutas em conserva em calda e geleias. No entanto, a produção desses bens gera uma grande quantidade de resíduos agroindustriais, deixando para trás a casca, a semente e o embrião, que poderiam ser usados em outras aplicações(ESTRADA-GIL *et al*, 2022).

Desta forma a pesquisa científica colabora para a verificação das metodologias analíticas e os diferentes tipos de análises utilizadas em estudos para caracterização desse fruto, evidenciando qual a parte do fruto necessita ainda de estudos e quais parametros de análises ainda necessitam ser exploradas, já que é conhecida a capacidade funcional, e alguns de seus compostos nutricionais.

Estudos de revisão sistemática sobre análises químicas em diferentes frações do frutos e as metodologias utilizadas para os diferentes tipos de analitos, facilita e direciona futuros estudos, tendo em vistas a existencia de diferentes técnicas e métodos que podem ser utilizados para um mesmo objetivo, assim como, possibilitam apontar a serem preenchidas e exploradas em futuros trabalhos com este tipo de amostra..

Com isto o objetivo desta revisão sistemática foi avaliar quais das principais análises químicas são utilizadas e as metodologias que são utilizadas para caracterizar o fruto rambuntan, assim como qual fração é a mais estudada. Podendo assim evidenciar lacunas de análises que podem ser ainda realizadas, contribuindo para pequisas futuras,e aumentando o o conhecimeto das propriedades nutricionais é funcionais para o aproveitamento integral do fruto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado através de uma revisão sistemática da literatura (Júnior *et al.*, 2022; Guimarães *et al*., 2022). A plataforma utilizada para a busca das referências bibliográficas foi a periódicos CAPES, onde foi empregado o seguinte termo de busca, na opção de busca avançada: *Nephelium lappaceum*, ou Rambutã. A tabela 1 apresenta todos os critérios de inclusão e exclusão desse estudo. Foram selecionadas pesquisas dos últimos 5 anos, publicadas em inglês, no formato de artigo científico, revisado por pares e que contem acesso aberto.

Tabela 1- Critérios de inclusão e exclusão.

Critérios de inclusão	
Forma de publicação	Artigo de pesquisa científica
Localização	Não avaliado
Período de publicação	2020 – 2024
Idioma	Inglês
Disponibilidade	Acesso aberto
Tipo de periódico	Revisado por pares
Critérios de exclusão	
Forma de publicação	Resumo; Livro ou capítulo de livro; Artigo de revisão bibliográfica; Boletins informativos.
Assunto	Título ou resumo não condizente com o tema da pesquisa; Metodologia de estudo não envolvendo caracterização da fruta ou parte analisada no artigo de pesquisa. Artigos que não continham o foco em análise do rambutan.

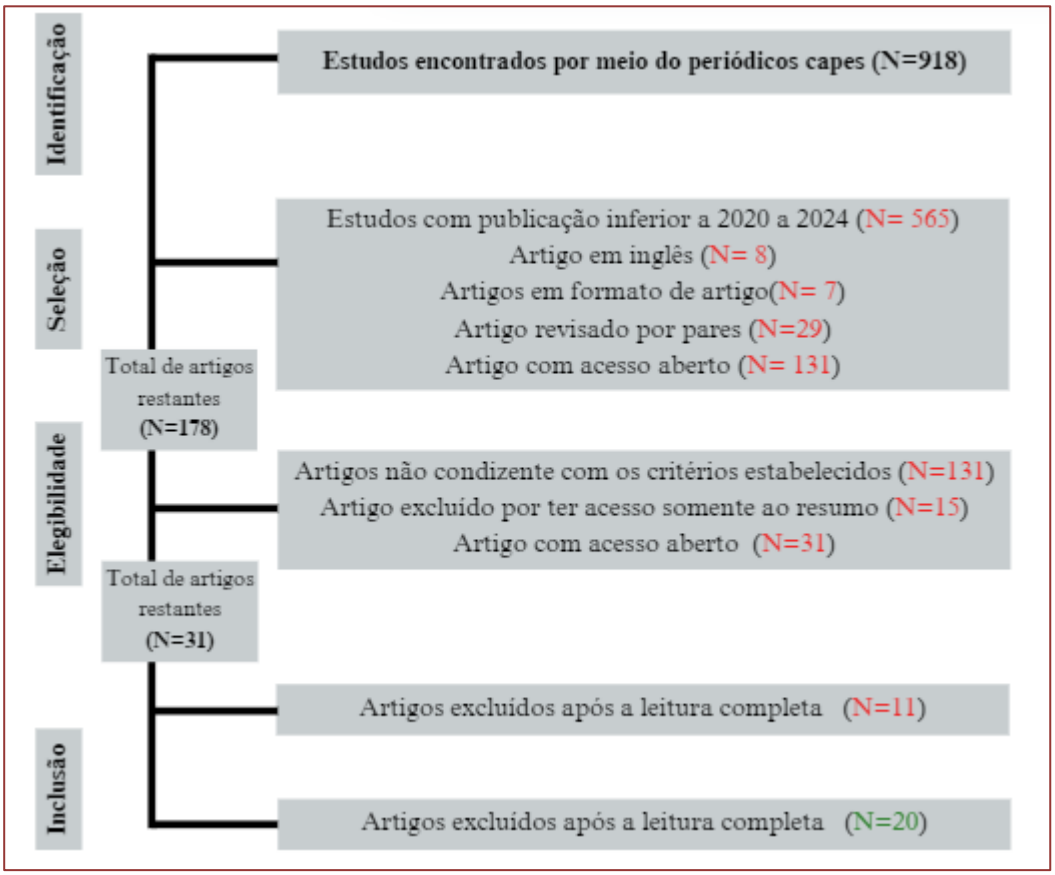
Fonte: Próprio autor, 2024.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a escolha dos critérios de inclusão e exclusão a pesquisa foi realizada conforme o fluxograma apresentado na figura 1. A busca encontrou 918 resultados, contudo, foram excluídos 565 por não pertencerem ao período de 2020 a 2024, foi excluído 7 trabalhos por não se apresentarem como artigo, para artigos em inglês excluí-se 8 artigos, 29 foram excluídos por não serem revisado por pares, 1 por não possuir acesso aberto, desta forma com auxílio do desktop *Mendeley* foi exportado os 178 artigos restantes para elegibilidade sendo verificado por meio de leitura do título e resumo para uso na revisão bibliográfica. Após a leitura verificou-se que 131 pelos temas e/ou resumos não se encaixarem nos critérios de escolha, e 1 por estar duplicado.

Esse processo resultou em 31 artigos. Após a realização das leituras por completo dos 31 artigos selecionados, foram eliminados 6 artigos por não encacharem com os parâmetros de seleção, restando 22 trabalhos selecionados para a leitura completa, desta forma possuindo uma melhor obtenção de dados para a revisão do assunto tratado.

Figura 1- Fluxograma da revisão sistemática.



Fonte: Próprio Autor, 2024.

Com a obtenção da revisão sistemática foi possível realizar a leitura dos 20 artigos selecionados, a partir destes foram analisadas quais as metodologias de análises estão sendo aplicadas em pesquisas para a caracterização do fruto Rambutan, e também a verificação de que países estavam sendo realizadas estas pesquisas, e qual parte do fruto possuí mais estudos. Na tabela 2 está presente as informações obtidas a partir da leitura dos artigos e na figura 2 é possível visualizar as metodologias mais estudadas.

Tabela 2: Informações dos artigos selecionados.

Autor	Local	Parte do fruto analisado	Metodologia analisadas	Método analítico
HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2020.		Casca	Determinação do conteúdo total de polifenóis	Espectrometria por Análise HPLC/ESI/MS
THITILERTDECHA, M 2022.	Tailândia	Casca	Teor fenólico total	Espectrometria
			Teor total de flavonoides	Espectrofotometria
			Ensaios antioxidantes (DPPH/ ABTS +)	Espectrofotometria
			Ensaio Inibitório da Tirosinase	Espectrofotometria
VALDEZ LÓPEZ, L. L, 2020.	Equador	casca	Caracterização taxonômica	Classificação uniforme
			Análises físico químicas	Triagem fitoquímica
			Umidade residual	Gravimetria
			Quantificação de fenóis Totais	Espectrofotometria
			flavonoides totais	Espectrofotometria
		semente	Determinação da capacidade antioxidantes	Espectrofotometria (FRAP)
			Índice de refração	Refratometria
			Densidade Relativa	Densímetro
			Índice de saponização	Cromatografia gasosa acoplada por espectrometria de massas
			Esterilização	Espectrofotometria RMN
			Frações insaponificáveis	Cromatografia gasosa acoplada por espectrometria de massas
JAHURUL, M. *et al.* 2020.	Segamat, Johor.	semente	Micrografias eletrônicas de varredura.	Microscópia Eletrônica (MEV) Microestrutura
			Ácido graxos	Cromatografia gasosa detector de ionização de chama
			índice de refração	Refratometria
Sai-Ut, S., *et al.*, 2023.	Tailândia	semente	Determinação EPC	Determinação EPC
			Determinação do poder antioxidante	Espectrofotômetria UV
			Determinação da atividade de eliminação de radicais (RSA)	Espectrofotômetria
			Determinação (ABTS)-RSA	Espectrofotômetria
Deng, H, *et al.*, 2023.	Amphoe Laem Sing	semente	Açucar solúvel	Colorimetria espectrofotômetro UV-vis
			Analise de Frutose, glicose e sacarose	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)
			Análise Acido orgânico;	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)
			Análise TSS,	Refratômetro Brix °
			pH	Potenciômetro
			Análise Aminoácidos	Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas
			Análise metabolômica	Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas
Coyago-Cruz, E, *et al.,* 2023.	Equador	Fruta	Análise peso	Pesagem
		Fruta	Análise diâmetro	Paquímetro
		Polpa	Análise de sólidos solúveis	Refratômetria °Brix
		Polpa	Análise de pH	Potenciometria
		Polpa	Análise de Acidez titulável	Titulometria
		Polpa	Umidade e Cinzas;	Gravimetria

Tabela 2: Informações dos artigos selecionados. (continuação)

Autor	Local	Parte do fruto analisado	Metodologia analisadas	Método analítico
Coyago-Cruz, E, *et al.,* 2023.	Equador	Polpa	Análise de compostos bioativos (vitamina C, ácido orgânico, carotenoides, fenólicos)	Cromatógrafia líquido de resolução rápida (RRLC)
		Polpa	Análises de antioxidantes (ABTS; DPPH)	Espectrofotometria
Wattanapitayakul, S. K.*et al.,* 2021.	Tailândia	Polpa	Conteúdo fenólico total (TPC)	Espectrofotometria
			Análise de Flavonoides (TFC)	Espectrofotometria
			Análises de antioxidante	Espectrofotometria
			Capacidade de absorção de radicais de oxigênio (ORAC)	Espectrofotometria
			Avaliação específica da atividade de eliminação de ROS	Espectrofotometria de microplacas
			Atividade de eliminação de radicais hidroxila (OH) (TBAR)	Espectrofotometria
			Análise de fitoquímicos	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
Ahn, H.Y., Cho, H.D., & Cho, Y.S. 2020.	*	Polpa	Quantificação de polifenóis	Espectrofotometria
			Quantificação de Flavonoides	Espectrofotometria
			Compostos bioativos	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
			Ensaio de eliminação de radicais DPPH	Espectrofotometria UV-VS
			Índice de Peróxido (TBARS)	Espectrofotometria UV
			Atividade antioxidante (DPPH)	Espectrofotometria
			Absorção de radiação infravermelha	Espectroscopia de infravermelho
Diaz Rojas, *et al.,* (202	China	Casca	Atividades de antioxidantes (DPPH)	Espectrofotometria
			Análise de Metabólicos	Cromatografia
Farooq, M., *et al.,* 2021.			Desidratação osmótica e ultrassom	Secagem
			pH	Potenciometria
Klongdee, S,Klinkesorn, U. 2022.	Tailandia	Casca	Conteúdo fenólico total	Espectrofotometria
			Conteúdo total de antocianinas (TAC)	Espectrofotometria
			Análise atividade antioxidante (ABTS)	Espectrofotometria
			Análise de fenólicos	Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas
			Análise Inibição da oxidação lipídica no sistema de ácido linoleico	Espectrofotometria
SIOL, M, *et al.,* 2022.	Malásia	Semente	Análise Atividade de água (a w)	Disponibilidade de água (medição de ponto de orvalho)
			Índice de Solubilidade em Água;	Solubilidade
			Avaliação do Perfil de Sabor	Sensor de língua eletrônica
			pH	Potenciometria
			Análise de cor	Espectrofotometria
			Análise Compostos polifenólicos totais	Espectrofotometria
			Análise Teor de taninos	Titulometria
			Propriedades antioxidantes	Espectrofotometria
Monrroy, M., Araúz, O.; García, J. R. 2020.	*	Casca	Análise de Carboidratos; ABTS, DPPH	Espectrofotometria
			Análise de açúcar redutor e minerais	Triagem fitoquímica
			Análise de fenólico total	Espectrofotometria
			Teor de flavonoides totais	Espectrofotometria
			Conteúdo total de antocianina;	Espectrofotometria

Tabela 2: Informações dos artigos selecionados. (continuação)

Autor	Local	Parte do fruto analisado	Metodologia analisadas	Método analítico
Albuquerque, B. R, *et al.,* 2023.	Ilhéus/Bahia	casca	Secagem	Liofilização
			Determinação de ácidos orgânicos	cromatografia líquida ultrarrápida
			Determinação de tocoferóis	cromatografia líquida de alta eficiência
			Determinação de ácidos graxos	Cromatografia gás-líquido com detecção por ionização de chama
			Análise de compostos fenólicos	Cromatografia Líquida de Ultra Alta Eficiência
			Avaliação da bioatividade	Atividade antioxidante; Atividade anti-inflamatória; Atividade citotóxica
Torgbo, S, *et al.,* 2022	Tailândia	Casca	Conteúdo Fenólico Total (TPC)	Espectrofotômetria UV-vis
			Análise de elementos minerais e resíduos de pesticidas na casca de Rambutan;	Espectroscopia de emissão óptica de plasma indutivamente acoplada
			Análise de antioxidante eliminação de radicais livre (DPPH)	Espectrofotômetria UV-vis
			Atividade antioxidante com ensaio (ABTS)	Espectrofotômetria UV-vis
			Antioxidante Redutor férrico (FRAP)	Espectrofotômetria UV-vis
			Identificação e quantificação de compostos polifenólicos	Cromatógrafia líquida de alta eficiência
			Análise de citotoxicidade	Espectrofotometria
			Análise principais elagitaninos no extrato	Cromatografia rápida
			Atividade antimicrobiana in vitro do extrato	Microdiluição em caldo
Jantapaso, H.; Mittraparp-Arthorn, P, 2022.	Ásia	Casca	Análise compostos fitoquímicos	Cromatografia gasosa por ionização
			Análise de grupos funcionais dos compostos	Espectroscopia de infravermelha por transformada de Fourier
			Ensaios de concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM)	Micro diluição em placa
			Análise de antioxidante eliminação de radicais livre (DPPH)	Espectrofotômetria
			Atividade antioxidante com ensaio (ABTS)	Espectrofotômetria
			Atividade de limpeza do EPR	Espectrofotômetria
Boyano-Orozco, Z, *et al*., 2020.	México	Casca	Análise de fenólico total	Espectrofotômetria
			Análise de antioxidantes (ABTS)	Espectrofotômetria
			Análise de antioxidantes (DPPH)	Espectrofotômetria
			Análises de Taninos Hidrolisáveis	Espectrofotômetria
Boonpisuttinant, K, *et al.,* 2023.	Tailândia	Casca Semente	Análise de compostos fitoquímicos	Espectrofotômetria
			Teor de fenólicos	Espectrofotômetria
			Análise de flavonoides	Espectrofotômetria
			Análise de quercetina	
Estrada-Gil, L, *et al.,* 2022.	México	casca	Análise teor total de polifenóis solúveis	Espectrofotometria
			Análise de antioxidantes ABTS DPPH	Espectrofotometria

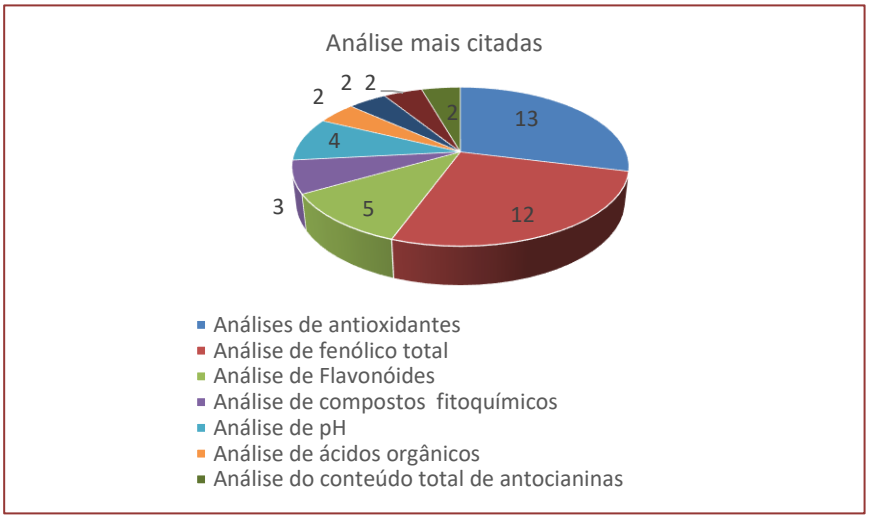
*Não informou o local da coleta

Fonte: Próprio autor, 2024.

Conforme a tabela 2, tem-se que o Rambutan é um cultivar originário dos países asiáticos, destacando-se que o local que mais possuía pesquisas voltados para este fruto era a Tailândia, seguida do México, sendo considerada uma fruta exótica e popular nestes países com clima tropicais, é considerada rica em antioxidantes. Logo segundo Monrroy e García, (2020) pode-se ter variações de compostos conforme as condições ambientais, solo, variedade da planta e manejo agronômico e estudos do fruto no Brasil ainda necessitam ser realizados, já que temos caracteristicas diferentes dos locais onde os estudos ds trabalhos incluidos nessa revisão foram realizados

O Gráfico 1 apresenta as análises mais comuns nos artigos revisados, conforme detalhado na Tabela 2. Pode-se verificar que exeto a análise de pH, todas essas análises apresentadas no gráfico como sendo as mais realizadas nos estudos, são análises utilizando as metodos espectroscópicos de análises, como a Espectrofotometria. Essas análises são basicamente utilizadas para determinações de classes ou grupos de compostos, como antioxidantes, flavonóides, compostos fenólicos, ácidos orgânicos, conteúdos ede antocianinas. Fica evidenciado que análises da composição química dentro dessas classes de substâncias não é comumente abordada nesses trabalhos. Isso pode ser em função de que análises de perfis cromatográficos, que permitem indicar qual a composição qualitativa e quantitatica dessas substâncias dessas classes químicas nas partes do fruto, serem realizadas por análises cromatográficas como cromatografia líquida e/ou gasosa, metodologias mais limitadas em termos de infraestrutura analítica, assim como de preparo de amostras, tornando o processo de análise mais difícil, tecnicamente e financeiramente.

Grafico 1- Análises mais citadas nos artigos incluídos.



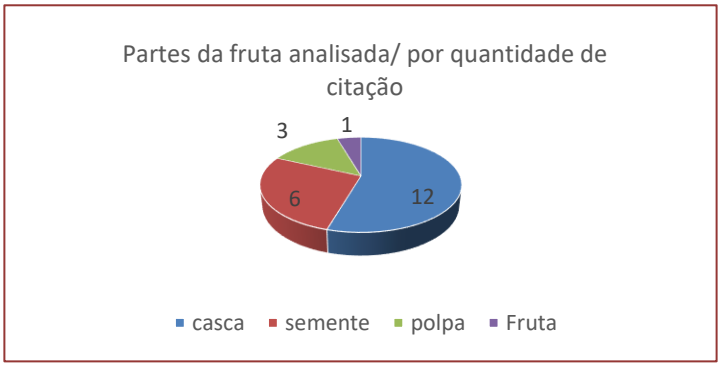
Fonte: Próprio autor, 2024.

Fica evidenciado que inúmeras análises, quanto a composição do fruto podem ainda ser exploradas, nos permitindo ter uma melhor compreensão das características nutricionais e funcionais do fruto.

Observou-se que a maioria das análises se concentram em coprodutos (casca e semente) do fruto. Onde os estudo citaram a casca como a mais estudada, pesquisadaas em 54,54% dos artigos, seguida pela semente, em 27,27% dos estudos, e polpa com

13,63%, a qual é menos citada por ser geralmente consumida *in natura* ou em calda. A análise do fruto inteiro, considerando parâmetros como diâmetro e peso, foi realizada em apenas 4,54% dos artigos, sendo esta avaliação feita com a fruta completa, conforme ilustrado no Gráfico 2.

Grafico 2- Parte do fruto mais pesquisadas nos artigos incluídos.



Fonte: Próprio autor, 2024.

De acordo com Hernández-hernández (2020), a casca do rambutan contém moléculas bioativas como polifenóis (principalmente elagitaninos) que têm grande potencial como ingrediente em alimentos funcionais devido às suas propriedades biológicas, como imunomoduladoras, citoprotetoras, anticancerígenas, antimicrobianas e antioxidantes, o memso destaca que desta o método de análise e extração devem ser analisados para obter maior quantidade de extratos, tendo diversas técnicas existentes para extração de compostos bioativos implementando novas tecnologias de extração, como a extração assistida por micro-ondas e a extração assistida por ultrassom.

Jahurul (2020)ao avaliar os tipos se secagem na qualidade nas propriedades físico-químicas da gordura da semente de rambutan avaliou por meio de análises metodologicas como Micrografias eletrônicas de varredura, analise de ácidos graxos e índice de refração, a qualidade em termos de propiedades físico-quimicas que gerou nformações vantajosas sobre a aplicação da gordura da semente de rambutan nas indústrias alimentícias. Já Coyago-Cruz (2023). verificou ao avaliar diversas frutas entre elas o rambutan seus compostos biotivos e a capacidade antioxidante onde o rambutan se destacou pelo alto teor de compostos fenólicos totais, que agrega um alto valor ao fruto. Visto isto a análises metodologicas são essenciais para verificação de analises para frutos e agregar valores aos mesmos.

Tambem foi verificado que a maioria dos estudos realizados estavam voltados parra a verificação dos compostos extraídos da casca do Rambutan sendo 54,54 %, a análise de antioxidantes foi a mais realizada, onde essa análise e feita pelos métodos de ensaio em conjunto ABTS+ a determinação da atividade antioxidante e medida com a técnica de reagente ABTS que usa um reagente de radical livre 2,2-0-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico, e em conjunto para determinar a atividade antioxidante, usa ensaio DPPH Estrada-gil, *et al*., (2022). Assim corroborando com Diaz Rojas, et al., (2023) que verificou que o Rambutan apresentou altas concentrações de antioxidantes, o que é uma vantagem na eliminação de radicais livres.

Desta forma conforme o gráfico 1, verificou a realização da análise de determinação e quantificação de compostos fenólicos totais: Sendo estes metabólitos secundários que existem em todas as plantas como mecanismo de defesa contra o estresse causado por patógenos ou condições ambientais adversas. Eles atuam como agentes redutores, eliminadores de radicais livres e quelantes de metais. Vários estudos realizados com extratos fenólicos ou compostos isolados demonstraram que eles protegem contra distúrbios causados por danos oxidativos, como câncer, arteriosclerose, distúrbios cardiovasculares e diabetes, ao retardar e inibir a oxidação de lipídios e outras moléculas (MONRROY, M., ARAÚZ, O.; GARCÍA, J. R. 2020).

Para a análise de flavonoides, a casca do Rambutan demonstrou conter muitos flavonoides. Esses compostos exibem várias bioatividades com uma função essencial em abordagens farmacológicas e medicinais. Geralmente, uma quantidade maior de compostos fenólicos e flavonoides é preferível de acordo com a padronização dos extratos vegetais (THITILERTDECHA, 2022).

Embora ainda os estudos de caracterização integral do fruto e de seus produtos, com as análises realizadas nos trabalhos incluidos neste estudo, fica evidenciado que o fruto pode e deve ser explorado como um alimento funcional e que todas as partes do fruto podem de alguma forma serem utilizadas com esses propósito, este revisão verificou que as que foram realizadas evidenciaram que as os compostos podem ser utlizado tanto em industrias farmacêuticas como industria alimentícia.

4. CONCLUSÃO

Após a análise dos 20 artigos incluidos para serem avaliados na íntegra nesta revisão sistemática, identificou-se uma grande variedade de tipos de análises e parâmetros analíticos utilizados para a caracterização das frações do fruto, sendo a sua maior parte não realizadas no Brasil. Vale ressaltar que embora isso ocorra e que o número de análises seja grande, as análises mais realaizadas são Espectrofotometria que foram utilizadas utilizadas para determinações de classes ou grupos de compostos, e que as análises da composição química dentro dessas classes de substâncias não é comumente realizada de acordo com os trabalhos avaliados evidenciado uma lacuna ainda a ser preenchida nos estudos com este tipo de amostra.tan). Foi possível identificar que para o fruto Rambutan, as pesquisas se voltadaram para suas frações da casca com 54,54% e semente com 27,27%, visto que são considerados resíduos industriais. Destaca-se nessas fraçoes as análises de atividades antioxidantes, seguidas das análises de fenólicos totais e análises de flavonoides. Logo, esta revisão sistemática possibilitou e evidenciar que todos os componentes do fruto possuem caracteísticas funcionais e nutricionais importantes, possibilitando o aproveitamento total e integral deste fruto, abrindo as possibilidades do uso dele para nutrição e industria alimentícia.

REFERÊNCIAS

[1] AHN, H.-Y., CHO, H.-D., & CHO, Y.-S. (2020). Comparison of antioxidant effect and phenolic compounds in tropical fruits. ***SN Applied Sciences***, *2*(6). https://doi.org/10.1007/s42452-020-2927-5

[2] ALBUQUERQUE, B. R., PINELA, J., DIAS, M. I., PEREIRA, C., PETROVIĆ, J., SOKOVIĆ, M., CALHELHA, R. C., OLIVEIRA, M. B. P. P., FERREIRA, I. C. F. R., & BARROS, L. (2023). Valorization of Rambutan (Nephelium lappaceum L.) peel: Chemical composition, biological activity, and optimized recovery of anthocyanins. ***Food Research International***, *165*, 112574. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112574

[3] BOONPISUTTINANT, K., SRISUTTEE, R., YEN KHONG, H., CHUTOPRAPAT, R., RUKSIRIWANICH, W., UDOMPONG, S., CHOMPOO, W., BOONBAI, R., RAKKAEW, R., SANGSEE, J., SRIPRASERT, K., & MALILAS, W. (2023). In vitro anti-ageing activities of ethanolic extracts from Pink Rambutan (Nephelium lappaceum Linn.) for skin applications. ***Saudi Pharmaceutical Journal***, *31*(4), 535–546. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.02.006.

[4] BOYANO-OROZCO, L., GALLARDO-VELÁZQUEZ, T., MEZA-MÁRQUEZ, O. G., & OSORIO-REVILLA, G. (2020). Microencapsulation of Rambutan Peel Extract by Spray Drying. ***Foods***, *9*(7), 899. https://doi.org/10.3390/foods9070899.

[5] CHAIWARIT, T., KANTRONG, N., SOMMANO, S. R., RACHTANAPUN, P., JUNMAHASATHIEN, T., KUMPUGDEE-VOLLRATH, M., & JANTRAWUT, P. (2021). Extraction of Tropical Fruit Peels and Development of HPMC Film Containing the Extracts as an Active Antibacterial Packaging Material. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *26*(8), 2265. https://doi.org/10.3390/molecules26082265.

[6] CHAI, K.F E GHAZALI, H.M. O torneamento melhora a qualidade do produto semelhante ao grão de cacau obtido a partir da semente do fruto fermentado de Rambutan (Nephelium lappaceum L.). Revista de Processamento e Conservação de Alimentos, v. 45, n. 6, pág. e15544, 2021.

[7] COYAGO-CRUZ, E., GUACHAMIN, A., VILLACÍS, M., RIVERA, J., NETO, M., MÉNDEZ, G., HEREDIA-MOYA, J., & VERA, E. (2023). Evaluation of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in 51 Minor Tropical Fruits of Ecuador. ***Foods***, *12*(24), 4439. https://doi.org/10.3390/foods12244439.

[8] DE LA ROSA-ESTEBAN, K., SEPÚLVEDA, L., CHÁVEZ-GONZÁLEZ, M., TORRES-LEÓN, C., ESTRADA-GIL, L., AGUILAR, C., & ASCACIO-VALDÉS, J. (2023). Valorization of Mexican Rambutan Peel through the Recovery of Ellagic Acid via Solid-State Fermentation Using a Yeast. ***Fermentation (Basel)***, *9*(8), 723. https://doi.org/10.3390/fermentation9080723.

[9] DENG, H., WU, G., GUO, L., HU, F., ZHOU, L., XU, B., YIN, Q., & CHEN, Z. (2023). Metabolic Profiling and Potential Taste Biomarkers of Two Rambutans during Maturation. ***Molecules (Basel, Switzerland)***, *28*(3), 1390. https://doi.org/10.3390/molecules28031390.

[10] DENG, H., WU, G., ZHANG, R., YIN, Q., XU, B., ZHOU, L., & CHEN, Z. (2023). Comparative nutritional and metabolic analysis reveals the taste variations during yellow Rambutan fruit maturation. ***Food Chemistry: X***, *17*, 100580. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100580.

[11] DENG, H., YIN, Q., LIN, Y., FENG, J., CHEN, Z., & ZHANG, R. (2021). Analysis on quality differences associated with metabolomics of Rambutan during different temperature storage. ***Food Chemistry. Molecular Sciences***, *3*, 100036. https://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100036.

[12] DIAZ ROJAS, M., ALVAREZ-RISCO, A., GONZÁLEZ, A. E. L., ARGUEDAS CHAVERRI, E., RODRÍGUEZ YEBRA, L., DEL-AGUILA-ARCENTALES, S., & YÁÑEZ, J. A. (2023). Comparison of the Antioxidant Power of Extracts of the Red vs. Yellow Nephelium lappaceum Variety. ***Sustainability (Basel, Switzerland)***, *15*(6), 5188. https://doi.org/10.3390/su15065188.

[13] ESTRADA-GIL, L., CONTRERAS-ESQUIVEL, J. C., FLORES-GALLEGOS, C., ZUGASTI-CRUZ, A., GOVEA-SALAS, M., MATA-GÓMEZ, M. A., ... & ASCACIO-VALDÉS, J. A. (2022). Recovery of bioactive Ellagitannins by ultrasound/microwave-assisted extraction from Mexican Rambutan Peel (Nephelium lappaceum L.). Molecules, v. 27, n. 5, p. 1592, 2022. https://doi.org/10.3390/molecules27051592.

[14] FAROOQ, M., AZADFAR, E., BAHRAMI, Z., SHARIFI, M., SHAKOOR, A. S., AHMED, S., SOLANGI, I. A., KHAN, M. N., SIDDIQUE, M., ILYAS, N., BAKHTIAR, M., ISMAEL, M. E.-F., & YUNYANG, W. (2021). Optimization of Drying Process of Rambutan by Combined Method of Osmosis Ultrasound and Complementary Drying of Hot Air. ***Pakistan Journal of Agricultural Research***, *34*(1), 218. https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.1.218.226.

[15] FITRIYANTI, R. I., YUNIASTUTI, E., & NANDARIYAH. (2022). Analysis of fat content of six types of Rambutan seeds (nephelium lappaceum l.) As Biodiesel Raw Material. ***IOP Conference Series. Earth and Environmental Science***, *1018*(1), 12044. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1018/1/012044.

[16] HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, C., AGUILAR, C. N., FLORES-GALLEGOS, A. C., SEPÚLVEDA, L., RODRÍGUEZ-HERRERA, R., MORLETT-CHÁVEZ, J., GOVEA-SALAS, M., & ASCACIO-VALDÉS, J. (2020). Preliminary Testing of Ultrasound/Microwave-Assisted Extraction (U/M-AE) for the Isolation of Geraniin from Nephelium lappaceum L. (Mexican Variety) Peel. ***Processes***, *8*(5), 572. https://doi.org/10.3390/pr8050572.

[17] HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, C., AGUILAR, C. N., RODRÍGUEZ-HERRERA, R., FLORES-GALLEGOS, A. C., MORLETT-CHÁVEZ, J., GOVEA-SALAS, M., & ASCACIO-VALDÉS, J. A. (2019). Rambutan (Nephelium lappaceum L.): Nutritional and functional properties. **Trends in food science & technology**, v. 85, p. 201-210, 2019.

[18] JAHURUL, M. H. A., NEE, S. S., NORAZLINA, M. R., HASMADI, M., SHARIFUDIN, M. S., PATRICIA, M., LEE, J. S., SHIHABUL, A., AMIR, H. M. S., JUMARDI, R., NOORAKMAR, A. W., & NORLIZA, J. (2020). Changes in microstructures of Rambutan seed and the quality of its fat during drying. ***SN Applied Sciences***, *2*(5). https://doi.org/10.1007/s42452-020-2649-8.

[19] JANTAPASO, H., & MITTRAPARP-ARTHORN, P. (2022). Phytochemical Composition and Bioactivities of Aqueous Extract of Rambutan (Nephelium lappaceum L. cv. Rong Rian) Peel. ***Antioxidants***, *11*(5), 956. https://doi.org/10.3390/antiox11050956.

[20] KLONGDEE, S., & KLINKESORN, U. (2022). Optimization of accelerated aqueous ethanol extraction to obtain a polyphenol-rich crude extract from Rambutan (Nephelium lappaceum L.) peel as natural antioxidant. ***Scientific Reports***, *12*(1), 21153. https://doi.org/10.1038/s41598-022-25818-7.

[21] LEE, Y. R., CHO, H. M., PARK, E. J., ZHANG, M., DOAN, T. P., LEE, B. W., CHO, K. A., & OH, W. K. (2020). Metabolite Profiling of Rambutan (Nephelium lappaceum L.) Seeds Using UPLC-qTOF-MS/MS and Senomorphic Effects in Aged Human Dermal Fibroblasts. ***Nutrients***, *12*(5), 1430. https://doi.org/10.3390/nu12051430.

[22] MONRROY, M., ARAÚZ, O., & GARCÍA, J. R. (2020). Active Compound Identification in Extracts of N. lappaceum Peel and Evaluation of Antioxidant Capacity. ***Journal of Chemistry***, *2020*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2020/4301891.

[23] OLIVEIRA, A. S., BIANO, L. S., PALMEIRA, D. N., ALMEIDA, D. R. DE, LOPES-FERREIRA, M., KOHLHOFF, M., SOUSA, J. A. C., BRANDÃO, G. C., SILVA, A. M. DE O. E, GRESPAN, R., & CAMARGO, E. A. (2023). Antinociceptive effect of Nephelium lappaceum L. fruit peel and the participation of nitric oxide, opioid receptors, and ATP-sensitive potassium channels. ***Frontiers in Pharmacology***, *14*, 1287580. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1287580.

[24] PHUONG, N. N. M., LE, T. T., VAN CAMP, J., & RAES, K. (2024). Dehydration of phenolic-rich extract from Rambutan (Nephelium lappaceum L.) peel by foam mat drying. ***Food Science & Technology***, *198*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115973.

[25] SAI-UT, S., KINGWASCHARAPONG, P., MAZUMDER, M. A. R., & RAWDKUEN, S. (2023). Optimization of extraction of phenolic compounds and antioxidants from passion fruit and Rambutan seeds using response surface methodology. ***Journal of Agriculture and Food Research***, *14*, 100888. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100888.

[26] SIOL, M., SADOWSKA, A., KRÓL, K., & NAJMAN, K. (2022). Bioactive and Physicochemical Properties of Exotic Fruit Seed Powders: Mango (Mangefiera indica L.) and Rambutan (Nephelium lappaceum L.) Obtained by Various Drying Methods. ***Applied Sciences***, *12*(10), 4995. https://doi.org/10.3390/app12104995.

[27] SITEPU, K. M., & ZAINAL. (2023). Potential of encapsulated Rambutan peel extract (Nephelium lappaceum) as a food preservative. *IOP* ***Conference Series. Earth and Environmental Science***, *1230*(1), 12154. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012154.

[28] THITILERTDECHA, N. (2022). Storage Effect on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Nephelium lappaceum L. Extract. ***Cosmetics (Basel)***, *9*(2), 33. https://doi.org/10.3390/cosmetics9020033.

[29] TORGBO, S., RUGTHAWORN, P., SUKATTA, U., & SUKYAI, P. (2022). Biological Characterization and Quantification of Rambutan (Nephelium lappaceum L.) Peel Extract as a Potential Source of Valuable Minerals and Ellagitannins for Industrial Applications. ***ACS Omega***, *7*(38), 34647–34656. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04646.

[30] VALDEZ LÓPEZ, L. L., CHÓEZ GUARANDA, I. A., CARRILLO LAVID, G. A., & MIRANDA MARTÍNEZ, M. (2020). Pharmacognostic study and evaluation of the antioxidant capacity of the fruit of two varieties of Nephelium lappaceum L. (Sapindaceae), (Rambutan). ***Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research***, *8*(1), 64–77. https://doi.org/10.56499/jppres19.701_8.1.64.

[31] WANG, J., ZHU, W., YANG, C., LI, M., FENG, S., TANG, L., YANG, C., & CUI, Z. (2024). Comparative Metabolomic and Transcriptomic Analysis Reveals That Variations in Flavonoids Determine the Colors of Different Rambutan Cultivars. ***Horticulturae***, *10*(3), 263. https://doi.org/10.3390/horticulturae10030263.

[32] WANTHONG, T., & KLINKESORN, U. (2020). Rambutan (Nephelium lappaceum) kernel olein as a non-hydrogenated fat component for developing model non-dairy liquid creamer: effect of emulsifier concentration, sterilization, and pH. ***Journal of Food Science and Technology***, *57*(12), 4404–4413. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04477-4.

[33] WATTANAKORNSIRI, A., RATTANAWAN, P., SANMUENG, T., SATCHAWAN, S., JAMNONGKAN, T., & PHUENGPHAI, P. (2022). Local fruit peel biosorbents for lead (II) and cadmium (II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study. ***South African Journal of Chemical Engineering***, *42*, 306–317. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.008.

[34] WATTANAPITAYAKUL, S. K., KUNCHANA, K., JARISARAPURIN, W., & CHULAROJMONTRI, L. (2021). Screening of potential tropical fruits in protecting endothelial dysfunction in vitro. ***Food & Nutrition Research***, *65*, 1–16. https://doi.org/10.29219/fnr.v65.7807.

[35] WEI, D., YANG, J., XIANG, Y., MENG, L., PAN, Y., & ZHANG, Z. (2022). Attenuation of Postharvest Browning in Rambutan Fruit by Melatonin Is Associated with Inhibition of Phenolics Oxidation and Reinforcement of Antioxidative Process. ***Frontiers in Nutrition (Lausanne)***, *9*, 905006. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.905006.

CAPÍTULO

15 Revisão sistemática sobre o uso de conservantes sintéticos em alimentos: tendências e alternativas naturais

Roseline Soares Sousa, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Maria Luciana Barbosa Mendes, Emerson Adriano Guarda, Patricia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

A conservação de alimentos por meio de aditivos químicos envolve a adição de substâncias específicas para prolongar a vida útil, melhorar o sabor, aparência e consistência dos produtos. Este método inclui uma classificação detalhada dos aditivos que devem ser utilizados de maneira apropriada para cada tipo de alimento. Os principais tipos de aditivos nessa classificação são antioxidantes, acidulantes, umectantes, estabilizantes, aromatizantes, edulcorantes e conservantes (VINCENZI et al.,2021).

Segundo a Portaria SVS/MS 540, de 27/10/97, aditivo alimentar é todo e qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos sem o propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento (BRASIL, 1997).

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), aproximadamente 30% dos alimentos produzidos mundialmente são perdidos anualmente devido à degradação. Por isso, o uso de aditivos químicos, como conservantes, tem se tornado cada vez mais comum, dada sua grande eficácia na preservação dos alimentos (VINCENZI et al.,2021).

O uso de aditivos e conservantes é fundamental para o armazenamento adequado dos alimentos, especialmente em condições de temperatura variada ou umidade excessiva, que podem favorecer a proliferação de fungos e bactérias. Essas substâncias químicas ajudam a prevenir o crescimento de micro-organismos, preservando a qualidade, consistência, valor nutricional e o pH adequado dos alimentos (YIN et al., 2023)

Os aditivos mais frequentemente utilizados em alimentos incluem nisina e natamicina, ácido acético e seus acetatos, ácido láctico e seus derivados, nitritos e nitratos, ácido benzóico e seus sais, ácido propiônico, ácidos p-hidroxibenzóicos e seus ésteres (parabenos), além do dióxido de enxofre e seus derivados SILVA et al., 2019).

No entanto, a deterioração continua sendo um problema frequente na indústria alimentícia, destacando a necessidade de se descobrir formas mais eficazes de conservações. Além disso, a percepção dos consumidores sobre os conservantes atualmente disponíveis no mercado tem sido um fator importante na busca por alternativas mais naturais (KAUR et al., 2023).

A incorporação de antioxidantes naturais nos alimentos sugere a ingestão de opções mais saudáveis, contendo ingredientes funcionais, sem causar mudanças drásticas nos hábitos alimentares dos consumidores. Os antioxidantes naturais são vistos como substitutos promissores para os conservantes sintéticos e, devido à sua presumida

segurança, são preferidos por consumidores preocupados com a saúde (SHWAIKI; ARENDT; LYNCH, 2022).

Antimicrobianos vegetais compõem o principal grupo de conservantes naturais, contendo metabólitos secundários direcionados às células microbianas. Diversas partes das plantas, como sementes, frutas, cascas, folhas e raízes, são abundantes em antimicrobianos vegetais como compostos fenólicos (como fenóis simples, ácidos fenólicos, antocianinas, flavonoides e quinonas), taninos, óleos essenciais e terpenoides, derivados de glucosinolatos, alcaloides e tióis.(LI; SUN; WENG, 2024).

Na busca por alternativas aos conservantes sintéticos, antioxidantes de plantas e ervas estão sendo cada vez mais investigados para a preservação de alimentos (JULIZAN et al., 2023). Estudos têm demonstrado que esses antioxidantes naturais podem não apenas prolongar a vida útil dos alimentos, mas também oferecer benefícios à saúde devido às suas propriedades bioativas. Além disso, o uso de antioxidantes de plantas e ervas pode atender à demanda crescente por produtos alimentícios mais naturais e saudáveis. (PINTO et al., 2023).

Embora os antimicrobianos vegetais possuam propriedades antimicrobianas, sua utilização na indústria alimentícia enfrenta desafios significativos, como a instabilidade química, a limitada dispersão em matrizes alimentares, a escassez de formulações comerciais prontas para uso e os perfis de sabor frequentemente indesejáveis. Em resposta a essas dificuldades, diversas técnicas de estabilização têm sido propostas, tais como nanoemulsões, encapsulação e inclusão em embalagens ativas. (SHWAIKI; SAHIN; ARENDT, 2020).

Na área de conservantes sintéticos e aditivos, não é comum ter revisões sistemáticas da literatura que siga ou adapte a metodologia PRISMA, principalmente no que diz respeito ao uso desses compostos como antibacterianos.

Ferramentas facilitadoras, como o protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), são empregadas na realização de revisões sistemáticas de literatura. O PRISMA inclui diretrizes que compõem um fluxograma de informações, proporcionando uma estrutura clara e metódica para a condução e o relato dessas revisões. Além disso, o uso do PRISMA auxilia na redução de viés e na transparência do processo de revisão, garantindo a qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos. Essa ferramenta é amplamente reconhecida e recomendada pela comunidade científica para a elaboração de revisões sistemáticas (D'OLIVEIRA et al., 2022).

Desse modo, este trabalho de revisão sistemática sobre conservantes sintéticos em alimentos visa preencher uma lacuna significativa na literatura atual ao compilar e analisar os estudos existentes sobre os efeitos, aplicações e tendências desses aditivos na indústria alimentícia. A crescente preocupação com a saúde e segurança alimentar, aliada à demanda por métodos de conservação mais eficazes e sustentáveis, torna essencial uma investigação aprofundada sobre os conservantes sintéticos. Ao fornecer uma síntese abrangente dos conhecimentos disponíveis, este estudo não só oferecerá insights valiosos para profissionais da área, mas também poderá orientar políticas públicas e estratégias empresariais voltadas para a produção e comercialização de alimentos seguros e de alta qualidade.

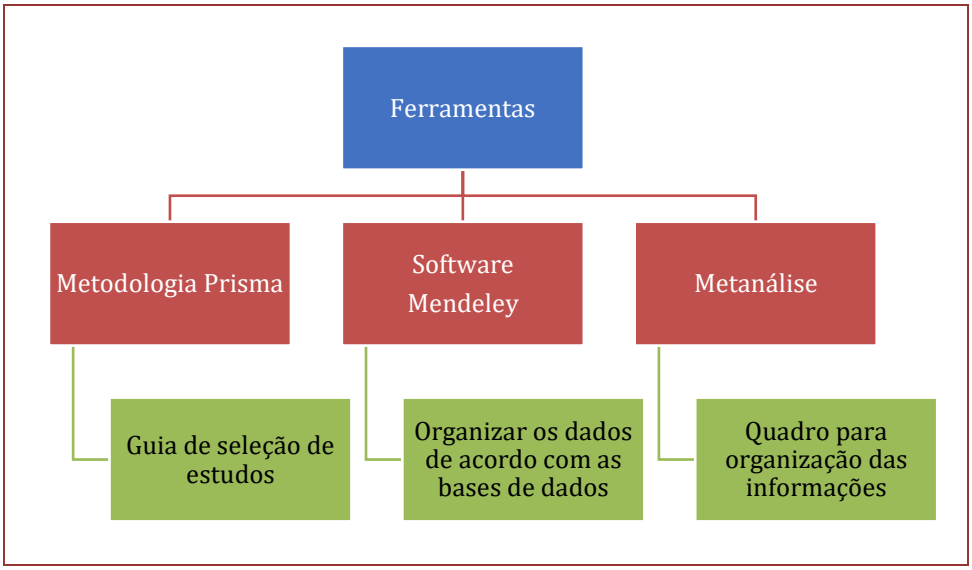
2. MATERIAL E MÉTODOS

As revisões sistemáticas são elaboradas para serem metódicas, claras e reproduzíveis. Esse tipo de estudo orienta o desenvolvimento de projetos, sugerindo novos caminhos para pesquisas futuras e identificando os métodos de pesquisa empregados em uma área específica (LYCARIÃO et el., 2023). Uma revisão sistemática exige a definição de uma estratégia de busca, o estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão dos artigos e, acima de tudo, uma análise rigorosa da qualidade da literatura selecionada (D,OLIVEIRA, 2022).

Para a realização desta revisão sistemática foram compilados dados sobre conservantes sintéticos em alimentos no período de 2019 a 2024, como mostra na Figura 1. O estudo foi conduzido conforme as diretrizes metodológicas do protocolo PRISMA (D'OLIVEIRA, 2022). O software Mendeley© foi utilizado para organizar os resultados conforme as bases de dados, além de auxiliar na organização das informações, simplificando o processo laborioso e repetitivo de uma revisão sistemática de literatura. Os estudos foram escolhidos através da plataforma online dos Periódicos da CAPES (www.periodicos.capes.gov.br), utilizando os termos de pesquisa "(Synthetic Preservative) and Food". Foram considerados apenas artigos em inglês publicados entre 2019 e 2024.

Artigos de revisão, livros, capítulos de livros, resumos de congressos e estudos de caso foram excluídos. Em seguida, aplicaram-se critérios adicionais de exclusão: trabalhos que não mencionavam conservantes sintéticos em alimentos, aditivos e aqueles sem texto completo disponível. Após a inclusão e comparação dos artigos restantes, os registros duplicados foram eliminados, resultando em um total de 23 artigos relevantes. Vale destacar que esta pesquisa abordou os diferentes tipos de conservantes alimentares mais utilizados, os alimentos em que são mais empregados, suas finalidades, bem como as alternativas de aditivos alimentares naturais ao uso de conservantes sintéticos.

Figura 1: Ferramentas utilizadas na pesquisa.



Fonte: Autor, 2024

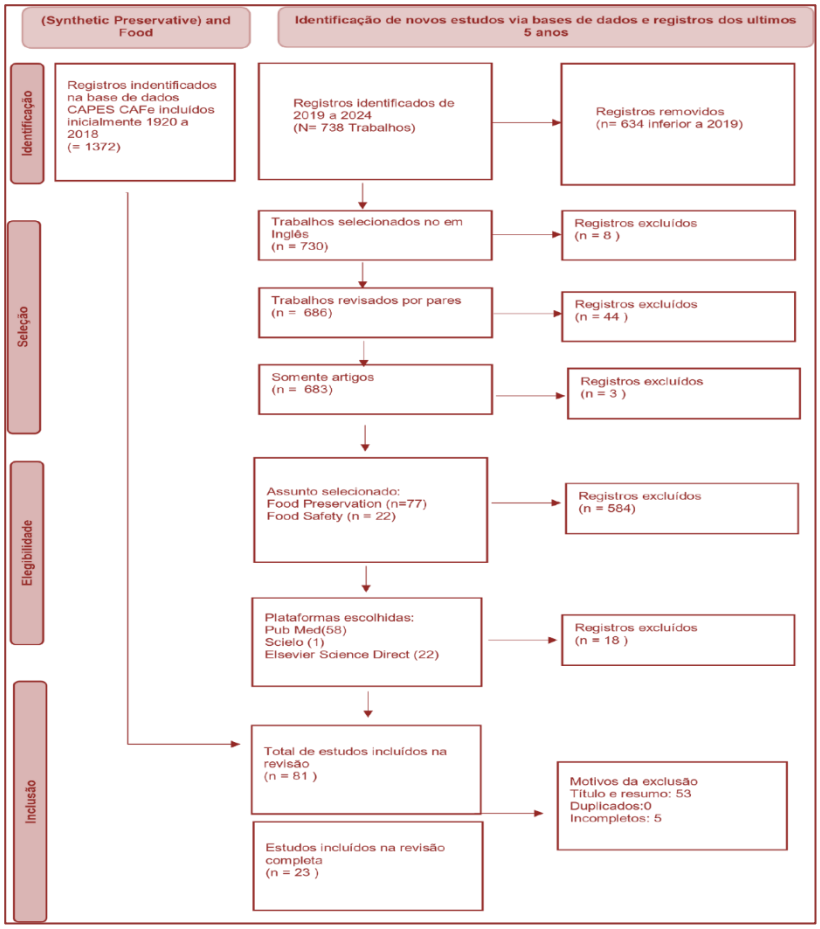
2.1. SELEÇÃO DOS ARTIGOS PELA METODOLOGIA PRISMA

Os estudos selecionados são apresentados em um fluxograma (Figura 2) conforme as diretrizes do PRISMA, detalhando o número de artigos identificados, incluídos e excluídos, juntamente com os motivos para a exclusão. A pesquisa foi realizada através do acesso ao acervo do Portal de Periódicos da CAPES por meio de um método de autenticação diretamente na plataforma dos periódicos, utilizando o serviço de autenticação denominado CAFe.

Foram identificados 1372 trabalhos no total. Desses, foram excluídos 634 trabalhos publicados antes de 2019, 8 trabalhos por não estarem no idioma inglês, 44 por não serem revisados por pares e 3 por não serem artigos científicos. Além disso, foram excluídos 584 artigos que não estavam relacionados aos temas Food Preservation e Food Safety, além disso, foi excluído 18 artigos por ter dado preferência as bases de dados Pub Med, SciElo e Elsevier Science Direct devido à sua alta reputação, acesso a dados atualizados e relevância, abrangência temática e facilidade de uso

Após essa etapa, permaneceram 81 artigos, dos quais 58 foram excluídos após uma revisão integral do texto, pois não se enquadravam no objetivo da pesquisa. Dessa maneira, 23 artigos foram submetidos à análise de texto completo e incluídos nesta pesquisa. As etapas de inclusão e exclusão desses trabalhos estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma de revisão sistemática, de acordo com o protocolo PRISMA.



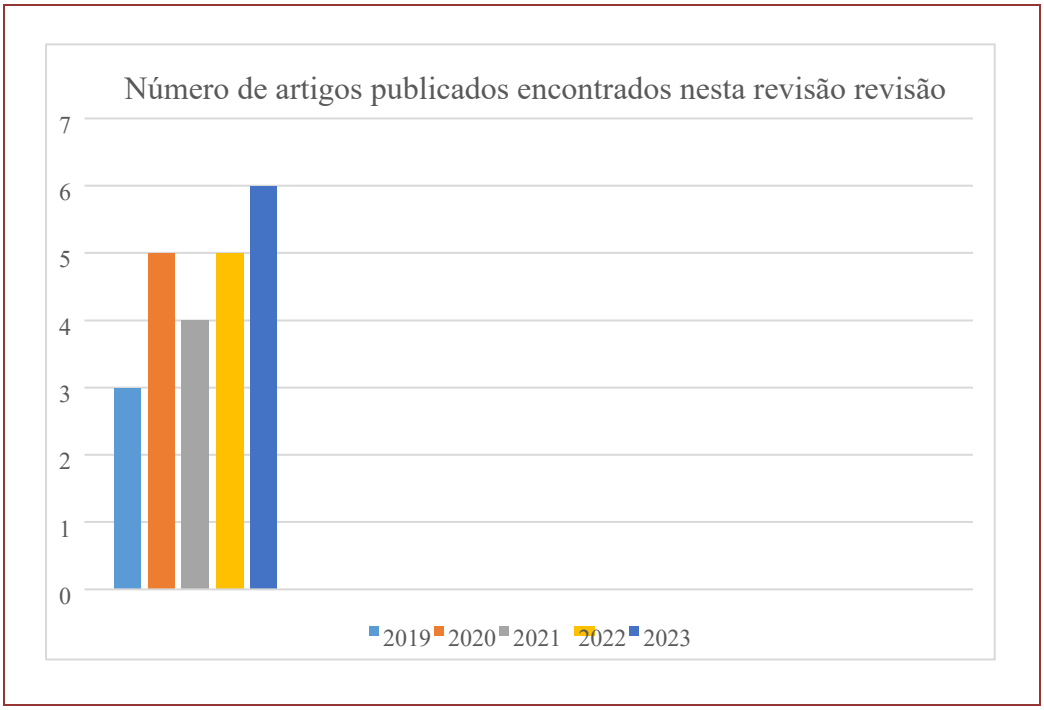
Fonte: Autora, 2024

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS COM CONSERVANTES EM ALIMENTOS

Com base na Figura 3 observa-se que o número de artigos foi maior em 2023. No ano de 2024, até junho, quando os dados foram compilados, já existiam estudos publicados nessa área, logo se os estudos continuarem a evoluir, pode ser que em 2025 poderá ter mais publicações do que nos anos anteriores sobre o assunto pesquisado. A revisão sistemática permitiu rastrear quais tipos de conservantes sintéticos foram estudados, suas aplicações, finalidades, e as alternativas de aditivos naturais.

Figura 3. Estudos sobre conservantes sintéticos encontrados nesta revisão sistemática, por ano, a partir de 2019.



Fonte: Autora, 2024

Nos referidos 23 artigos incluídos na revisão sistemática, o tipo de conservante e em quais alimentos usados, são apresentados no Tabela 1. O quadro apresenta também em que alimento estão sendo usados e os conservantes alternativos citados pelos autores em substituição aos conservantes sintéticos, destes retirou-se 4 artigos por não apresentarem os dados do objetivo da pesquisa.

Conforme apresentado no Tabela 1, a pesquisa revelou uma quantidade significativa de estudos dedicados aos antimicrobianos utilizados em alimentos. Esta concentração de estudos reflete a crescente preocupação com a segurança alimentar e a necessidade de prolongar a vida útil dos produtos. Os antimicrobianos desempenham um papel crucial na inibição do crescimento de microrganismos patogênicos e deteriorativos nos alimentos, ajudando a reduzir os riscos de contaminação e a manter a qualidade microbiológica dos alimentos ao longo do tempo. A diversidade de aplicações encontradas nos estudos inclui diferentes tipos de alimentos, desde produtos cárneos até produtos lácteos e processados.

Ainda na tabela de dados, a coluna "Tipo de Conservantes Sintéticos" contém algumas entradas marcadas como "Não citado". Isso ocorre porque os autores desses estudos focaram exclusivamente nas alternativas naturais e não mencionaram conservantes sintéticos e evidenciando essa tendência a substituição e preocupação por substâncias mais naturais que consigam obter resultados semelhante ou melhores as tão usadas substâncias sintéticas. Sendo assim, embora a busca dos artigos tenha sido por conservantes sintéticos, essa tendência em apenas focar nos substituídos, mostrou-se importantíssimo a inclusão desses trabalhos neste artigo de revisão sistemática, já que mesmo os trabalhos que mencionavam conservantes sintéticos utilizados, mostravam alternativas naturais para substituição.

Tabela 1. Tipo de conservante sintético e conservante naturais.

Tabela de Resultados				
Estudo Relacionado	**Tipo de Conservante Sintético**	**Uso**	**Função do Conservante**	**Conservante Natural**
Monteschi et al., 2021	Hidroxutolueno Butilado	Carnes	Antioxidante	Óleo de Copaiba
Akter et al., 2019	Hidroxianisol Butilado, Hidroxutolueno Butilado e Galato de Propila.	Alimentos	Antimicrobiano, antioxidante	Extrato de Terminalia Ferdinandiana
Ramos et al., 2021	Não citado	Produtos minimamente processados	Antioxidante, antimicrobiano	Biorevestimentos Naturais Comestíveis
Elshafil et al., 2022	Não citado	Carnes	Antimicrobianos	Extrato de Plantas
Kaur et al.,2023	Nitrato, Nitrito	Carnes	Antimicrobiano	Óleo Essencial de kanuka
Julizam et al., 2023	Não citado	Carnes	Antimicrobiano, antioxidante	Extrato de Planta
Pinto et al.,2023	Nitrato, Benzoatos, sulfitos, Sorbatos e Formaldeido	Carnes	Antimicrobiano	Extratos Naturais, Óleos Essenciais, Extrato Plantas.
El-Hack et al., 2022	Não citado	Alimentos e Bebidas	Antimicrobiano	Pimenta do Reino
E.Bonin, V.Avila, V. Carvalho et al.,2023	Não citado	Alimentos	Antioxidante, antimicrobiano	Extrato da Semente de Tamarindo
E.Dalzini, D. Merigo, A. Caproli et al.,2022	Nitrato, Nitrito	Salames	Antimicrobiano	Nitratos vegetais
G.El. Saber, D. Hussein, A. Algammat et al.2021	Não citado	Alimentos	Antimicrobiano	Óleos Essenciais, ervas
F.Fathi, S.N.Ebrahimi. L. Matos et al.,2022	Não citado	Alimentos	desidratante	Secagem
L.Grigore-Gurgu, F.Bucer, O.Mehalache et al.,2024	Não citado	Carne e leite	Antimicrobiano	Agentes Biológicos
J.He et al.,2023	Benzoato de Sódio, Propionato de Sódio, Sorbato de Potássio, Nitrito	Pão, Carne, Peixe	antioxidante	Óleo Essencial de Gengibre

Tabela 1. Tipo de conservante sintético e conservante naturais. (continuação)

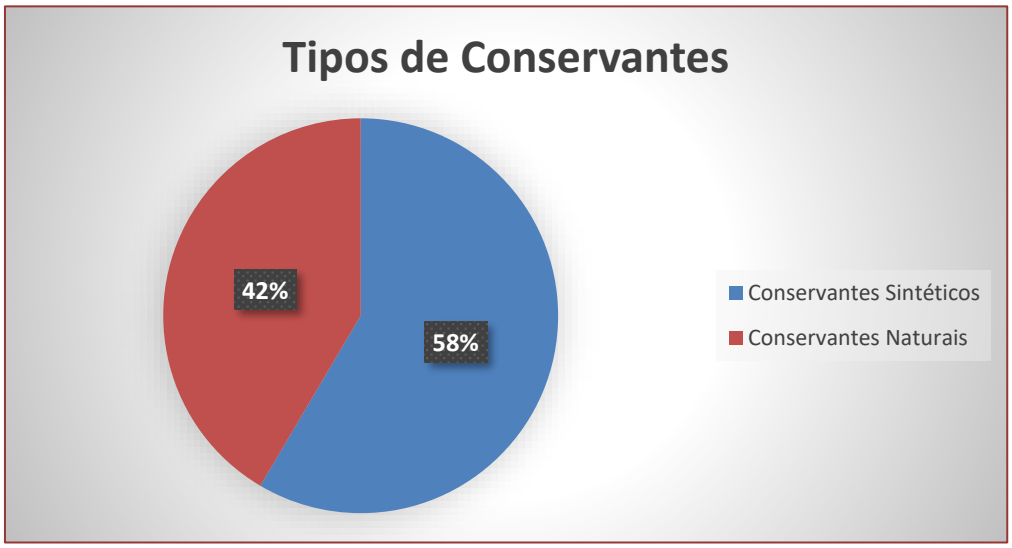
Tabela de Resultados				
Estudo Relacionado	**Tipo de Conservante Sintético**	**Uso**	**Função do Conservante**	**Conservante Natural**
M.Ibanez et al., 2020	Não citado	Alimentos	Antimicrobiano, Antioxidante	Casca de Frutas Cítricas
S. Jafarzadeh et al., 2023	Embalagem Plástica	Grãos, Pães, Frutas	Antimicrobiano	Biopolímeros
S. Kumar, A. Mukherjee, J. Dutta et al	Embalagem Plástica	Frutas, Vegetais, Carne e Peixe	Antimicrobianos	Quitosana
S, Lourenço et al., 2019	Hidroxianisol butilado, hidroxutolueno butilado	Frutas, Vegetais	Antioxidante	Extratos de Plantas
A. Pandey et al., 2021	Não citado	Alimentos	Antimicrobiano	Oleos essenciais

Fonte: Autor, 2024

3.2. CONSERVANTES SINTÉTICOS E CONSERVANTE NATURAIS

O gráfico ilustrado na Figura 4, mostra que 58% dos conservantes citados na pesquisa são sintéticos, enquanto 42% são naturais. Esses conservantes são populares porque são eficazes e estáveis. No entanto, o fato de que 42% dos conservantes mencionados são naturais demonstra um interesse crescente em alternativas mais naturais. Essa tendência reflete a preocupação dos autores com os possíveis riscos dos aditivos sintéticos.

Figura 4. Tipos de Conservantes.



Fonte: Autor, 2024

A principal diferença entre conservantes naturais e sintéticos está na sua origem. Enquanto os conservantes sintéticos são produzidos artificialmente através de processos químicos, os naturais são derivados de fontes naturais, como plantas e animais (PINTO et al., 2023). Em termos de eficácia, os conservantes sintéticos são geralmente mais eficazes em baixas concentrações e possuem uma ação antimicrobiana potente. Já os conservantes naturais, podem ser menos eficazes e frequentemente requerem maiores concentrações para atingir a mesma eficácia dos sintéticos (KAUR et al., 2023). Quanto ao custo, os conservantes sintéticos são normalmente mais baratos devido à produção em massa, enquanto os conservantes naturais, podem ser mais caros, devido ao processo de extração e produção (YIN et al., 2023).

Os conservantes sintéticos apresentam várias vantagens. Eles são altamente eficazes, funcionando bem em pequenas quantidades e oferecendo proteção robusta contra microrganismos. Além disso, são mais econômicos, tornando-os uma escolha popular na indústria alimentícia. Por fim, apresentam maior estabilidade, o que prolonga a vida útil dos alimentos de forma consistente (SHWAIKI et al., 2020).

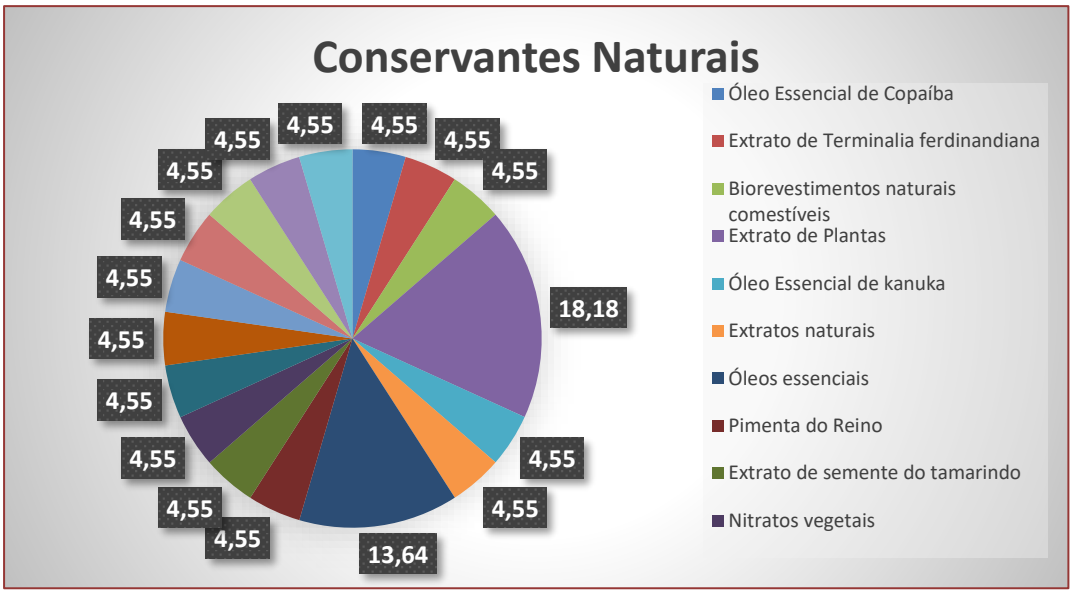
Por outro lado, os conservantes naturais são geralmente considerados mais seguros e com menos efeitos colaterais, o que é uma preocupação crescente entre os consumidores. A tendência de consumo atual favorece alimentos com ingredientes naturais, percebidos como mais saudáveis. Além disso, muitos conservantes naturais são derivados de fontes renováveis, contribuindo para práticas mais sustentáveis (BONIN et al., 2023).

3.3. CONSERVANTES NATURAIS

O gráfico apresentado na Figura 5, destaca os principais conservantes naturais identificados na revisão, os extratos de plantas são identificados como o tipo mais frequentemente mencionado, com 18% das menções. O que evidencia a extensa utilização de extratos vegetais na indústria alimentícia como uma alternativa aos conservantes sintéticos, indicando uma crescente preferência por ingredientes naturais e sustentáveis para promover a segurança e a qualidade dos alimentos.

Em segundo lugar, os óleos essenciais, são destacados representando aproximadamente14% das citações. Este dado sublinha a prevalência e o reconhecimento dos óleos essenciais como agentes eficazes na preservação de alimentos, devido às suas propriedades antimirobianas e antioxidantes naturais amplamente reconhecidas na literatura científica.

Figura 5. Conservantes Naturais.



Fonte: Autor, 2024

3.3.1. ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais são amplamente reconhecidos por suas propriedades bioativas que promovem a saúde. Além de serem eficazes na preservação direta de alimentos, esses óleos podem ser encapsulados em diversas formas, como nanoemulsões, emulsões Pickering e partículas sólidas encapsuladas. Essas técnicas avançadas de encapsulamento, melhoram significativamente a estabilidade e a liberação controlada dos compostos bioativos, aumentando sua eficácia e ampliando suas aplicações na indústria alimentícia. O uso dessas metodologias também pode potencializar os benefícios para a saúde, preservando a integridade dos óleos essenciais durante o processamento e armazenamento dos alimentos (HE et al., 2023).

3.3.2. EXTRATOS DE PLANTAS

Os extratos de plantas têm se destacado como conservantes naturais de alimentos devido às suas propriedades antimicrobianas comprovadas e capacidade de prolongar a vida útil dos produtos alimentícios de maneira segura e eficaz (SHWAIKI et al., 2022). O uso de diversos materiais vegetais, como ervas, especiarias, sementes, frutas e vegetais, é reconhecido não apenas por suas propriedades

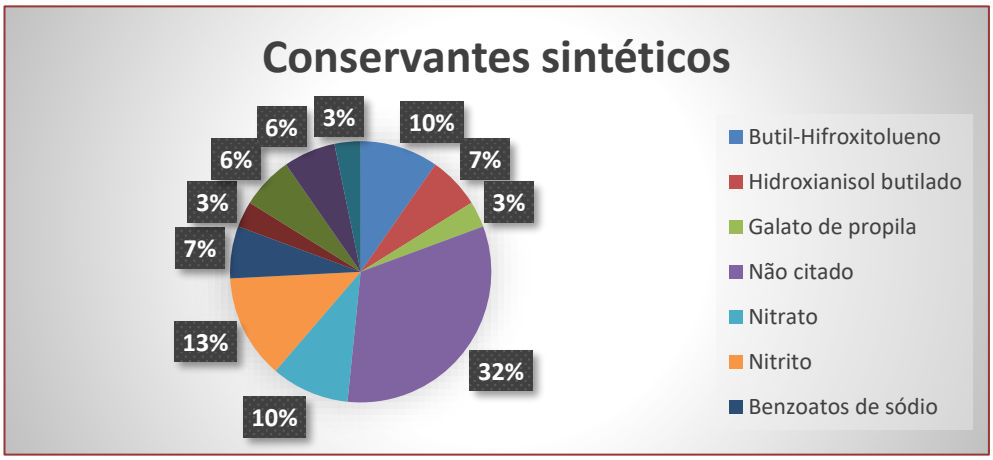
antioxidantes naturais, que oferecem benefícios biológicos significativos ao combater os danos dos radicais livres no corpo humano, mas também por seu impacto econômico positivo. Muitos desses antioxidantes podem ser obtidos a partir de subprodutos alimentares e de espécies vegetais que ainda não são plenamente exploradas comercialmente. Essa dualidade de benefícios nutricionais e econômicos impulsiona a pesquisa contínua e o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e terapêuticos, contribuindo para um futuro mais sustentável e saudável (PINTO et al., 2023).

3.4. CONSERVANTES SINTÉTICOS

Os dados apresentados na Figura 6, revelam a predominância dos conservantes sintéticos mais citados na revisão sistemática. Notavelmente, o nitrito é o mais frequentemente mencionado, representando 13% das citações, destacando sua proeminência e aplicação significativa na indústria alimentícia. Seguindo-se de perto, tanto o nitrato quanto o hidroxitolueno butilado são citados em 10% dos trablahos cada, indicando sua relevância e adoção disseminada devido às suas propriedades conservantes.

O hidroxianisol butilado, com 7% das citações, embora menos prevalente, ainda representa uma proporção substancial, sublinhando sua importância como conservante.

Figura 6. Conservantes sintéticos.



Fonte: Autor, 2024

3.4.1. NITRITO E NITRATO

Os conservantes como nitrito e nitrato são conhecidos por sua capacidade de prevenir o crescimento de Clostridium botulinum, uma bactéria que pode produzir toxinas perigosas em ambientes de baixo teor de oxigênio, como produtos enlatados. Isso é crucial para garantir a segurança alimentar. (SERÔDIO et al., 2022)

De acordo Serôdio et al. (2022), a aplicação de nitrito e nitrato em produtos cárneos traz benefícios sensoriais que agradam os consumidores, incluindo alterações na cor, no sabor e na textura. Esses conservantes reagem com a mioglobina, um pigmento natural encontrado na carne, formando a nitromioglobina, que é responsável pelo tom avermelhado característico da carne curada, garantindo sua coloração por um período prolongado.

3.4.2. HIDROXITOLUENO BUTILADO E HIDROXIANISOL BUTILADO

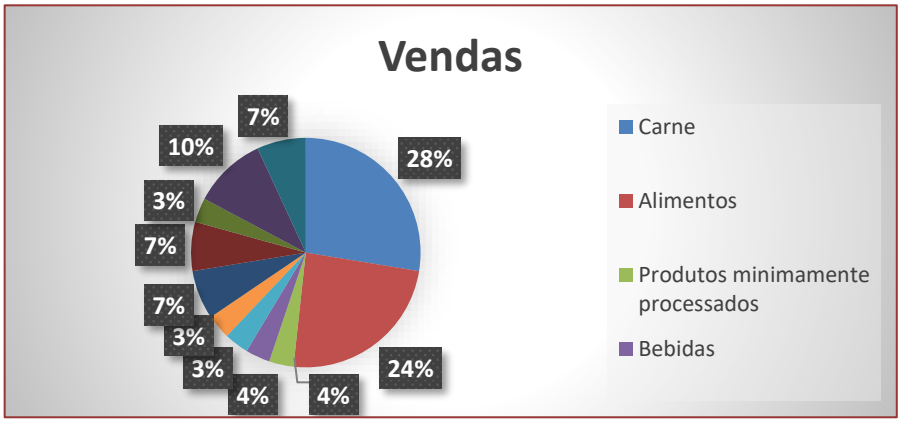
O hidroxitolueno butilado e o hidroxianisol butilado são eficazes na prevenção da rancificação de alimentos gordurosos e oleosos, ajudando a manter sua frescura e prolongar sua vida útil. Eles funcionam inibindo a oxidação lipídica, um processo que pode levar à formação de compostos indesejáveis, como aldeídos e peróxidos, que podem

alterar o sabor, o aroma e a textura dos alimentos, além de reduzir seu valor nutricional (RIBEIRO, et al., 2020).

3.5. O USO DE CONSERVANTES EM ALIMENTOS

Os conservantes também são amplamente utilizados em alimentos em geral, representando 24% do uso. Esta categoria abrange uma grande variedade de produtos processados e embalados, como laticínios, refeições prontas, alimentos enlatados e congelados. Eles são aplicados para garantir que os alimentos permaneçam microbiologicamente estáveis, permitindo seu armazenamento seguro por períodos prolongados.

Figura 7. Alimentos com uso de conservantes.



Fonte: Autor, 2024

Conservantes desempenham um papel crucial na carne, respondendo por 28% do uso total em alimentos. Eles são fundamentais para manter a carne fresca por mais tempo, evitando que microrganismos causem sua deterioração rápida. Isso é especialmente importante para garantir a qualidade e segurança dos produtos cárneos ao longo do tempo.

No caso das frutas, os conservantes respondem por 10,34% do uso. Eles são empregados principalmente para retardar a deterioração durante o armazenamento e transporte, preservando a textura, sabor e aparência frescos das frutas frescas cortadas ou processadas por mais tempo.

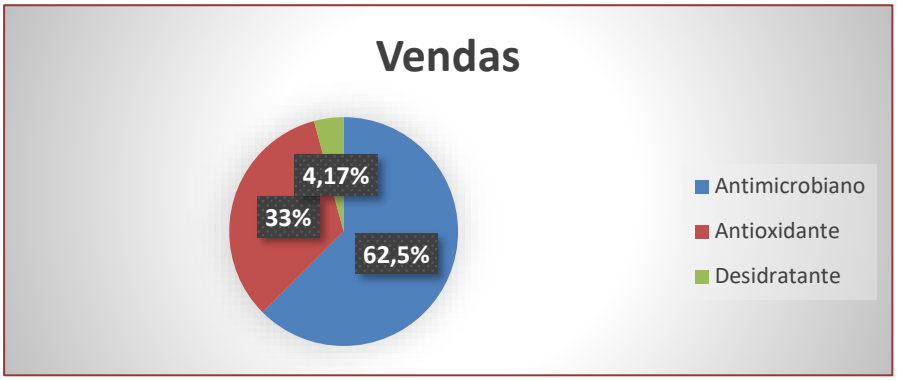
Quanto ao pão e ao peixe, que juntos representam 6,9% do uso de conservantes, esses ingredientes são essenciais para prevenir o crescimento de fungos e bactérias. Isso prolonga a vida útil do pão e garante a segurança alimentar do peixe fresco ou processado.

Esses números demonstram como os conservantes desempenham funções específicas e vitais em diferentes categorias de alimentos, não apenas garantindo a qualidade sensorial, mas também assegurando a segurança alimentar em todas as etapas da produção e distribuição.

3.6. FUNÇÕES DOS CONSERVANTES EM ALIMENTOS

A predominância de conservantes antimicrobianos sublinha a importância de garantir a segurança alimentar, enquanto a significativa presença de antioxidantes demonstra a preocupação em preservar a qualidade dos alimentos. Os desidratantes, apesar de menos usados, são essenciais em aplicações específicas. Esses resultados ajudam a entender as práticas de conservação na indústria alimentícia e podem guiar futuras pesquisas e inovações, representados na Figura 8.

Figura 8. Funções dos conservantes.



Fonte: Autor, 2024

Os resultados mostram que a maioria dos conservantes em alimentos dos trabalhos incluidos possuem a função de antimicrobianos (62,50%). Isso indica que a principal preocupação na conservação de alimentos nestes trabalhos é a segurança alimentar em termos microbiológicos, evitando o crescimento de bactérias, fungos e outros microrganismos que poderiam estragar os alimentos e causar doenças.

Os antioxidantes representam 33,33% dos conservantes. Esses são importantes para prevenir a oxidação, que pode afetar negativamente a cor, o sabor e o valor nutricional dos alimentos. Portanto, o uso significativo de antioxidantes reflete a preocupação em manter a qualidade dos alimentos em termos nutricionais.

Os desidratantes, embora menos utilizados (4,17%), desempenham um papel específico na conservação ao remover a umidade dos alimentos, o que também ajuda a prevenir o crescimento microbiano. No entanto, seu uso é mais especializado e menos comum em comparação com os outros tipos de conservantes.

3.7. SUBSTITUIÇÃO DE CONSERVANTES SITÉTIVOS POR CONSERVANTES NATURAIS

A troca de conservantes sintéticos por naturais traz várias vantagens significativas tanto para a saúde dos consumidores quanto para a indústria alimentícia(Ibáñez et al., 2020). Conservantes naturais são geralmente mais seguros, reduzindo os riscos de toxicidade e reações alérgicas associadas aos sintéticos(He et al., 2023). Além disso, a crescente demanda dos consumidores por produtos naturais e menos processados torna os conservantes naturais uma escolha atraente para as empresas, proporcionando uma vantagem de marketing e permitindo a venda de produtos premium. Conservantes

naturais, como extratos de plantas e óleos essenciais, também possuem propriedades antioxidantes e antimicrobianas que não só preservam os alimentos, mas trazem benefícios adicionais à saúde, como a prevenção de doenças cardíacas e câncer (Ramos et al., 2021).

Outra vantagem importante é a sustentabilidade. A produção de conservantes naturais tem um impacto ambiental menor em comparação com os sintéticos, pois vem de fontes renováveis e reduz a necessidade de pesticidas químicos na agricultura (Jafarzadeh et al., 2023). Além disso, conservantes naturais podem enriquecer os alimentos com nutrientes extras, transformando-os em produtos funcionais. Embora haja desafios como estabilidade e custo, a adoção de conservantes naturais está crescendo devido à sua compatibilidade com as tendências de consumo e os benefícios ambientais, contribuindo para um futuro mais saudável e sustentável (Ma et al., 2022).

4. CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática evidenciou a complexidade e a importância dos conservantes sintéticos na indústria alimentícia, destacando a necessidade contínua de inovação e pesquisa nesse campo. Ao longo dos últimos anos, houve um aumento significativo no número de estudos voltados para a investigação dos efeitos, aplicações e alternativas aos conservantes sintéticos, refletindo uma preocupação crescente com a segurança alimentar e a saúde dos consumidores.

Os resultados da pesquisa revelaram que, embora os conservantes sintéticos como o hidroxitolueno butilado, hidroxianisol butilado, nitritos e nitratos ainda sejam amplamente utilizados devido à sua eficácia comprovada, há uma tendência clara em direção à incorporação de alternativas naturais. Óleos essenciais, extratos de plantas e biorevestimentos naturais estão ganhando destaque como substitutos promissores, oferecendo não apenas benefícios de conservação, mas também propriedades bioativas que podem contribuir para a saúde dos consumidores.

Os desafios associados ao uso de conservantes naturais, como a instabilidade química e os perfis de sabor indesejáveis, são obstáculos significativos que necessitam de abordagens inovadoras, como a encapsulação e as nanoemulsões. Essas técnicas podem potencialmente melhorar a eficácia e a estabilidade dos conservantes naturais, tornando-os mais viáveis para aplicação comercial. Além disso, a revisão sistemática apontou lacunas importantes na literatura, especialmente no que diz respeito ao uso de conservantes sintéticos específicos como antibacterianos e a falta de uma análise sistemática rigorosa nesse contexto. A utilização de protocolos como o PRISMA para revisões sistemáticas é crucial para garantir a transparência, a reprodutibilidade e a redução de vieses nos estudos futuros.

Em conclusão, esta revisão sistemática não só sintetizou o conhecimento existente sobre conservantes sintéticos e naturais, mas também destacou a necessidade de uma investigação contínua e aprofundada. A busca por conservantes mais seguros, eficazes e naturais é essencial para atender às demandas dos consumidores por alimentos mais saudáveis e sustentáveis. As descobertas desta revisão podem servir de base para futuras pesquisas, políticas públicas e estratégias empresariais, promovendo uma indústria alimentícia mais segura e inovadora.

REFERÊNCIAS

[1] BONIN, E.; AVILA, V. D.; CARVALHO, V. M.; CARDOSO, M. A. P.; MATOS, A. M.; RAMOS, A. V. G.; CABRAL, M. R. P.; BALDOQUI, D. C.; SARRAGIOTTO, M. H.; FILHO, B. A. de A.; PRADO, I. N. do. Study of chemical constituents, antioxidants and antimicrobial activities of Tamarindus indica L. seed. **Journal of Food Science**, v. 88, n. 11, p. 4639–4652, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/1750-3841.16739.

[2] D'OLIVEIRA, M. C. de P. E.; GUARDA, E. A.; GUARDA, P. M.; SIDEL, S. M. Estudos recentes sobre compósitos de carboidratos para inibição da corrosão: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, e41811932021, 2022. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32021.

[3] ELSHAFIE, S. S.; ELSHAFIE, H. S.; el BAYOMI, R. M.; CAMELE, I.; MORSHDY, A. E. M. A. Evaluation of the antimicrobial activity of four plant essential oils against some food and phytopathogens isolated from processed meat products in Egypt. **Foods**, v. 11, n. 8, p. 1159, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/foods11081159.

[4] GRIGORE-GURGU, L.; BUCUR, F. I.; MIHALACHE, O. A.; NICOLAU, A. I. Comprehensive review on the biocontrol of Listeria monocytogenes in food products. **Foods**, v. 13, n. 5, p. 734, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/foods13050734.

[5] HE, J.; HADIDI, M.; YANG, S.; KHAN, M. R.; ZHANG, W.; CONG, X. Natural food preservation with ginger essential oil: biological properties and delivery systems. **Food Research International**, v. 173, pt. 1, p. 113221, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113221.

[6] LI, J.; SUN, H.; WENG, Y. Natural extracts and their applications in polymer-based active packaging: a review. Polymers, v. 16, n. 5, p. 625, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/polym16050625.

[7] LYCARIÃO, D.; ROQUE, R; COSTA, D. Revisão sistemática de literatura e análise de conteúdo na área da comunicação e informação: o problema da confiabilidade e como resolvê-lo. **Transinformação**, v. 35, e220027, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0889202335e220027.

[8] MA, Q.; XU, Y.; XIAO, H.; MARIGA, A. M.; CHEN, Y.; ZHANG, X.; WANG, L.; LI, D.; LI, L.; LUO, Z. Rethinking of botanical volatile organic compounds applied in food preservation: challenges in acquisition, application, microbial inhibition and stimulation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 125, p. 166–184, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.05.007.

[9] MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Nº 540**, de 27 de outubro de 1997. Secretaria de Vigilância Sanitária, 1997. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs1/1997/prt0540_27_10_1997.html. Acesso em: [data de acesso].

[10] PINTO, L.; TAPIA-RODRÍGUEZ, M. R.; BARUZZI, F.; AYALA-ZAVALA, J. F. Plant antimicrobials for food quality and safety: recent views and future challenges. **Foods**, v. 12, n. 12, p. 2315, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12122315.

[11] RAJENDRACHARI, S.; BASAVEGOWDA, N.; ADIMULE, V. M.; AVAR, B.; SOMU, P.; R M, S. K.; BAEK, K. H. Assessing the food quality using carbon nanomaterial based electrodes by voltammetric techniques. **Biosensors** (Basel), v. 12, n. 12, p. 1173, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/bios12121173.

[12] RAMOS, M.; MELLINAS, C.; SOLABERRIETA, I.; GARRIGÓS, M. C.; JIMÉNEZ, A. Emulsions incorporated in polysaccharide-based active coatings for fresh and minimally processed vegetables. **Foods**, v. 10, n. 3, p. 665, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/foods10030665.

[13] SERÔDIO, G. A. S. Nitritos e nitratos nos alimentos e possíveis riscos para a saúde. 2022. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) — Universidade de Lisboa, Faculdade de Farmácia.

[14] SILVA, E. de S.; SOARES, F. M.; BARROS, J. R. de; CONSTANT, P. B. L. Conservação de alimentos pelo uso de aditivos: uma revisão. B.CEPPA, v. 37, n. 2, p. jul./dez., 2019.

[15] S, M. A.; S, P. S.; SUBRAMANIYAN, V.; SUBRAMANIAN, S.; SATHIAVELU, M. Bread packaging techniques and trends. **Italian Journal of Food Safety**, v. 11, n. 4, p. 10771, 2022. DOI: https://doi.org/10.4081/ijfs.2022.10771.

[16] TRAN, V. T.; NGUYEN, T. B.; NGUYEN, H. C.; DO, N. H. N.; LE, P. K. Recent applications of natural bioactive compounds from Piper betle (L.) leaves in food preservation. **Food Control**, v. 154, p. 110026, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110026.

[17] YIN, W.; SHANG, M.; LI, X.; SANG, S.; CHEN, L.; LONG, J.; JIAO, A.; WANG, J.; JIN, Z.; QIU, C. Recent developments in sources, chemical constituents, health benefits and food applications of essential oils extracted from medicine food homology plants. **Food Bioscience**, v. 55, p. 102997, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102997.

CAPÍTULO

16 Síntese de biocatalisadores para produção de açúcares prebióticos utilizando impressão 3D

Joicy Silva e Silva, Kauã M. de Oliveira, Valéria P. da Silva, Kalil G. Kanuto, Gabriela E. Lacerda, Maximilian J. Hodapp, Rafael F. Perna, Warley G. da Silva, Michelle C. A. Xavier, Sergio A. V. Morales

1. INTRODUÇÃO

Os fruto-oligossacarídeos (FOS) são oligossacarídeos pertencentes ao grupo dos frutanos, e que podem ser encontrados em diferentes plantas como: cebola, alho, banana, alcachofra, aspargos, beterraba, chicória, tomate, trigo, yacon, alcachofra de Jerusalém e algumas gramíneas (MACEDO *et al*., 2020). Os principais FOS são a 1-kestose (GF2), nistose (GF3) e frutofuranosil nistose (GF4) (CUNHA *et al*., 2019). Estes carboidratos não são digeríveis, sendo fermentados na microbiota intestinal, e também, possuem baixo valor calórico, podem ser consumidos de forma segura por diabéticos, não são cariogênicos e sua fermentação produz ácidos graxos de cadeia curta que ajudam no controle dos níveis do colesterol total, promovendo o crescimento de bifidobactérias no cólon humano (CHEN *et al*., 2018; WANG, 2015). Apesar da importância industrial e social dos FOS, o Brasil não dispõe de tecnologia eficaz para a produção destes açúcares em larga escala, sendo o seu consumo dependente de importação.

Os FOS podem ser produzidos pela reação de transfrutosilação da sacarose, catalisada por enzimas microbianas frutosiltransferase (FTase, e.c.2.4.1.9) (FLORES-MALTOS *et al*., 2014, TOLEDO *et al.*, 2019). O fungo A. oryzae IPT-301 é um dos principais produtores de FTases extracelulares e miceliais que apresentam alta atividade de transfrutosilação e baixa atividade hidrolítica (CUERVO-FERNANDEZ *et al*., 2007). A produção da FTase micelial é de grande interesse de estudo por possibilitar seu uso como biocatalisador do tipo células íntegras (CUNHA *et al.*, 2019). O uso de células íntegras apresenta vantagens, em comparação às enzimas isoladas, tais como redução de custos, simplicidade do processo e parâmetros de operação mais amplos devido à melhor estabilidade da célula em diferentes condições de processo (NOBRE *et al*., 2018; SILVA et al., 2021).

Adicionalmente, as células podem ser imobilizadas visando aumentar a sua estabilidade térmica e operacional, e possibilitar seu reuso e separação após a reação enzimática (SOUZA *et al*., 2017; CASTRO *et al*., 2017). Especialmente, as células de *Aspergillus oryzae* IPT-301 são biocatalisadores promissores para produção de FOS; porém, o seu uso em reatores de leito fixo (PBR) é limitado pelo uso de técnicas de imobilização ineficientes e problemas de escoamento e transferência de massa no PBR, impossibilitando a produção contínua de FOS (ZAMBELLI *et al*., 2016; DIAS *et al.*, 2022). Estas limitações podem ser solucionadas ao utilizar leitos catalíticos com propriedades morfológicas e texturais otimizadas. Uma estratégia simples e eficiente para produção destes leitos catalíticos é utilizar suportes fabricados por impressão 3D utilizando materiais poliméricos abundantes e de baixo custo, tais como o polietilenotereftalato glicol (PETG), acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e ácido poliláctico (PLA).

O polietilenotereftalato glicol (PETG) é um muito utilizado em plásticos transparentes de garrafas de água ou outros recipientes de líquidos. É um polímero que ganhou destaque devido a sua durabilidade e facilidade de processamento, é considerado seguro para uso em contato com alimentos, atendendo os padrões de segurança estabelecidos. O terpolímero poli(acrilonitrila-butadieno-estireno) ABS, é um dos materiais mais utilizados pela indústria automobilística e um dos materiais muito utilizados na indústria por ter um custo acessível. (LUSTOSA, *et al*., 2020). Sendo considerado um dos materiais mais importantes na fabricação de peças de plástico por possuir uma maior resistência, durabilidade e facilidade de moldagem. O poli (ácido lático) ou PLA é um dos polímeros mais favoráveis da atualidade sendo o mais sustentável quando comparado aos plásticos convencionais, atraindo interesse devido o seu potencial de reduzir o impacto ambiental. O PLA é caracterizado por ser um dos materiais mais populares, disponibilizados em várias cores e pela maioria dos fornecedores de suprimentos para a tecnologia, além de apresentar maior facilidade para impressão 3D (TANIKELLA, N.G *et al*. 2017).

Neste contexto, este projeto teve como objetivo desenvolver biocatalisadores heterogêneos para a produção eficiente de FOS, mediante a imobilização de células de *A. oryzae* IPT-301 em suportes de PLA e ABS fabricados por impressão 3D, assim como avaliar a concentração de células imobilizadas e atividade de transfrutosilação dos novos biocatalisaodres.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. SÍNTESE DOS BIOCATALISADORES

Como material de suporte foram utilizadas peças porosas de Ácido Poliláctico (PLA) fabricadas em forma de cubos de 1 cm de aresta. Estas partículas de suporte foram planejadas e fabricadas em colaboração com o LABTEB-UFT, mediante a tecnologia Fused Deposition Modeling (FDM), que utiliza um processo de construção de modelos camada por camada a partir de materiais termoplásticos. Após sua fabricação, os suportes foram esterilizados em autoclave e adicionados ao meio de cultivo

Para a produção de células com atividade de Ftase foi utilizada a cepa do fungo *Aspergillus oryzae* IPT-301, fornecida pelo Laboratório de Biotecnologia Industrial do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (LBI/IPT-SP). Inicialmente, os esporos liofilizados do microrganismo foram ressuspensos em 10 ml de água destilada estéril e alíquotas de 70 µL e inoculadas em meio de cultura sólido, preparado em placa de Petri, contendo (em %, m v^{-1}): ágar batata dextrose (KASVI®) 2,0, glicerina (Isofar®) 2,5, extrato de levedura (Synth®) 0,5 e glicose (Dinâmica®) 2,5. Após incubação por 7 dias a 30 ºC em incubadora refrigerada do tipo B.O.D. (Tecnal®, modelo TE-371). Os esporos produzidos foram coletados, por meio de raspagem utilizando alça de Drigalski, em 10 ml de solução constituída por NaCl (Dinâmica®) 0,95 % (m v^{-1}) e Tween-80 (Dinâmica®) 0,1 % (v v^{-1}). A suspensão obtida foi homogeneizada com solução de glicerina (Isolar®) 20,0 % (m v^{-1}), e a concentração de esporos, com auxílio de uma câmara de Neubauer (Newoptics®), foi ajustada para 1 x 10^7 esporos mL^{-1}, seguido de armazenamento sob refrigeração a - 6 °C (CUNHA et al., 2019; GONÇALVES et al., 2020; GARCIA et al., 2021; DIAS et al., 2022).

O meio de cultura sintético utilizado para o cultivo celular e produção das células microbianas com atividade catalítica foi constituído por (em %, m v-1): sacarose (Synth®)

15,0, extrato de levedura (Synth®) 0,5, $NaNO_3$ (Dinâmica®) 0,5, KH_2PO_4 (Synth®) 0,2, $MgSO4.7H_2O$ (Dinâmica®) 0,05, $MnCl_2.4H_2O$ (Synth®) 0,03 e $FeSO_4.7H_2O$ (Synth®) 0,001. O pH do meio de cultura foi ajustado para 5,5 com solução de NaOH (Synth®) 1 x 10^{-2} mol L^{-1}. Foram distribuídos 50 ml deste meio de cultura, juntamente com as peças porosas em frascos do tipo Erlenmeyer de 250 ml e, em seguida, autoclavados a 120 ºC e 2,0 atm durante 20 minutos (DIAS et al., 2022; CUNHA et al., 2019). Foram inoculados 500 µL de suspensão, contendo cerca de 1 x 10^7 esporos mL^{-1}, no meio de cultura. O cultivo celular submerso foi conduzido em agitador orbital do tipo shaker (Tecnal®, modelo TE-4200) a 30 °C e 200 rpm por 32 h. O conteúdo total do frasco foi filtrado em papel do tipo Whatman n°1 com diâmetro de 90 mm. Os biocatalisadores (células imobilizadas nos suportes), retidos no papel, foram lavados abundantemente com água destilada e armazenados a 4 ºC para ensaios posteriores.

A atividade de transfrutosilação foi determinada conforme procedimento descrito por Cunha et al. (2019). Uma unidade (1U) de atividade de transfrutosilação foi definida como a quantidade de enzima que produz um micromol (1 µmol) de frutose transfrutosilada (transferida) por minuto, sob condições experimentais estabelecidas. Para isso, 0,7 g de células íntegras imobilizadas incubadas com 3,7 ml de solução de sacarose 48 % (m v^{-1}) e 1,2 ml de tampão tris-acetato 0,2 mol L^{-1}, pH 5,5. A reação foi conduzida em banho Dubnoff (Bunker®, modelo NI 1232) a 50 ºC, 190 rpm por 1 h e interrompida pela imersão do meio reacional em água em ebulição por 10 min, seguido por resfriamento em banho de água e gelo por 5 min para inativação enzimática. Posteriormente, o meio reacional foi filtrado à vácuo e as concentrações de glicose (G) e açúcares redutores (AR) foram quantificadas pelos métodos colorimétricos GOD/PAP® (kit enzimático glicose-oxidase) e DNS (ácido 3,5 dinitrosalicílico) (MILLER, 1959), respectivamente. As concentrações de frutose liberada (F) e frutose transfrutosilada (transferida) (FT) no meio reacional foram determinadas pelas Equações (1) e (2) (Cunha et al., 2019).

$$[F] = [AR] - [G] \quad (1)$$

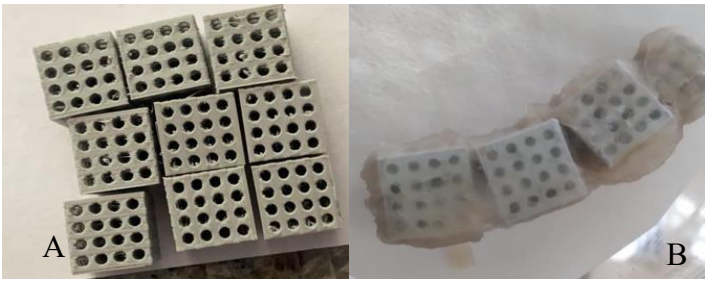
$$[FT] = [G] - [F] \quad (2)$$

Por último, a concentração efetiva de células immobilizadas nos suportes foi obtida por meio da diferença entre as massas celular seca e de suporte contido no meio de cultivo (g célula g $suporte^1$). A massa seca foiobtida após os ensaios de atividade enzimática mediante secagem das células íntegras imobilizadas em estufa por 24 h a 60 ºC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 38 de cultivo foi observado crescimento do fungo tanto na parte interna quanto externa dos materiais de suporte. A seleção deste periodo de tempo foi realizada devido a que em tempos anteriores não foi observado um crescimento expressivo do material, e também sonsiderando os resultados apresentados por Cunha et al., (2019), onde foi reportado um alto crescimento da biomassa de *A. oryzae* IPT-301 após 32 horas. A Figura 1 apresenta os suportes de PLA fabricados por impressão 3 D (A) e a biomassa celular de *A. oryzae* IPT-301 immobilizada nos suportes após o cultivo celular de 38 horas.

Figura 1 - Suportes de PLA (A) e células de *A. oryzae* IPT-301 immobilizadas nos suportes (B).



Fonte: Próprio Autor

Na Tabela 1 são apresentados a concentração de células do fungo nos suportes e a atividade de transfrutosilação apresentada por ambos os biocatalisadores heterogêneos. Pode ser observado que houve uma maior concentração de células no PLA, sugerindo que este material apresenta maior compatibilidade para o crescimento celular do que o ABS. Este resultado é importante uma vez que o PLA é um polímero renovavel, produzido por rota bacteriana, e biodegradável. Também, pode ser observado que as células imobilizadas em ABS apresentaram uma atividade de transfrutosilação muito maior do que aquelas imobilzadas em ABS, no entanto, este resultado pode ter sido consequência da menor concentração de células presentes nos suportes.

Tabela 1 - Atividade enzimática e quantidade de biomassa de *A. Oryzae* IPT-301 imobilizada nos suportes fabricados por impressão 3D

Material	Massa do suporte (g)	Massa Total (g)	Massa celular (g)	Concentração de células imobilizadas($g_{células}$ $g^{-1}_{suporte}$)	At (U $g^{-1}_{biocatalisador}$)
ABS	1,3949	1,5045	0,1096	0,078	178,66
PLA	0,9728	1,1889	0,2161	0,222	14,69

Fonte: Próprio Autor

Os biocatalisadores produzidos neste trabalho apresentaram atividades de transfrutosilação comparaveis com os reportados na literatura. Cunha et al., (2019) reportaram que a Ftase extracelular de *A. Oryzae* IPT-301 apresenta At de aproximadamente 20 U ml^{-1} enquanto as células do mesmo fungo apresentam At de aproximadamente 300 U g^{-1} após 40 horas de cultivo. Entretanto, a imobilização das células nos suportes porosos também representa vantagens operacionais como maior facilidade de separação e reúso e menor empacotamento do leito catalítico em reatores de leito fixo. Sendo assim, os resultados obtidos neste trabalho representam uma aplicação promissora da impressão 3D na síntese de biocatalisadores para a produção de FOS.

4. CONCLUSÃO

A impressão 3D de peças de PLA e ABS mostrou ser uma tecnologia rápida e promíssora para a fabricação de suportes adequados para a imobilização de células com atividade de transfrutosilação. Principalmente, o PLA apresentou alto potencial de aplicação para a imobilização de células, enquanto o ABS permitiu a obtenção de maior atividade de transfrutosilação. No entanto, novos estudos deverão ser realizados visando obter uma análise estatística da aplicabilidade de ambos os polímeros como materiais de suporte na imobilização do fungo *A. Oryzae* IPT-301, e assim continuar com o desenvolvimento de biocatalisadores heterogêneos eficientes para a produção de FOS.

REFERÊNCIAS

[1] CASTRO, C. C.; NOBRE, C.; DUPREZ, M.E.; DE WEIRELD, G.; HANTSON, A.L. Screening and Selection of Potential Carriers to Immobilize Aureobasidium pullulans Cells for Fructo-Oligosaccharides Production. **Biochem. Eng.** J. 118, 82–90, 2017.

[2] CHEN, L.; KARBOUNE, S. Prebióticos em Alimentos e Saúde: Propriedades, Funcionalidades,Produção e Superação de Limitações com o Segundo Geração de Frutooligossacarídeos do Tipo Levan; **Elsevier**: Amsterdã, Holanda, 2018.

[3] CUERVO-FERNANDEZ, R., OTTONI, C.A., SILVA, E.S., MATSUBARA, R.M.S., CARTER, J.M., MAGOSSI, L.R., WADA, M.A., ANDRADE, M.F., MARESMA, B.G., MAIORANO, A.E. Screening of β-fructofuranosidase-producing microorganisms and effect of pH and temperature on enzymatic rate. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 74(1), 87-93, 2007.

[4] CUNHA, J.S., OTTONI, C.A., MORALES, S.A.V., SILVA, E.S., MAIORANO, A.E., PERNA, R.F. Synthesis and characterization of fructosyltransferase from Aspergillus oryzae IPT-301 for high fructooligosaccharides production. **Braz J Chem Eng**. v. 36, p. 657-658, 2019.

[5] DIAS, G. S et al., Study on the transfructosylation activity of Aspergillus oryzae IPT-301 cells in a packed bed reactor aiming at fructooligosaccharide production, **Chem Tecnology and Biotecnology**, v. 97, p. 2904-2911, 2022.

[6] LUSTOSA, E. C. B. et al. Propriedades térmicas de compósitos de acrilonitrila-butadienoestireno (ABS) e fibras de celulose modificadas com nanopartículas de sílica (SiO2). **Revista Matéria**, v 25, n. 03, 2020

[7] MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; ARAÚJO, C. DA S. Fruto-oligossacarídeos: aspectos nutricionais, tecnológicos e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p.e2019080, 2020.

[8] MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.

[9] NOBRE, C., FILHO, E.G.A., FERNANDES, F.A.N., BRITO, E.S., RODRIGUES, S., TEIXEIRA, J.A., RODRIGUES, L.R. Production of fructo-oligosaccharides by Aspergillus ibericus and their chemical characterization. **Food Science and Technology**, v. 89, p. 58–64, 2018.

[10] OTTONI, C.A.; CUERVO, R.; PICCOLI, R.M.; MOREIRA, R.; MARESMA, B.G.; SILVA, E.S.; RODRIGUES, M.F.A.; MAIORANO, A.E. Media optimization for β-fructofuranosidase production by Aspergillus oryzae. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 29, 49, 2012.

[11] SILVA, M.B.P.O.; ABDAL, D.; PRADO, J.P.Z.; DIAS G.S.; MORALES, S.A.V.; XAVIER, M.C.A.; ALMEIDA, A.F.; SILVA E.S.; MAIORANO, A.E.; PERNA, R.F. Effect of temperature, pH and storage time on the stability of an extracellular fructosyltransferase from Aspergillus oryzae IPT 301. **Braz. J. Food Technol**. 24:e2020283. 2021.

[12] SOUZA, L. T. A.; VERÍSSIMO, L. A. A.; JOÃO, B. C. P.; SANTORO, M. M.; RESENDE, R. R.; MENDES, A. A.; "Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte", p. 529 -568. In: **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria** - Vol. 4. São Paulo: Blucher, 2017.

[13] TANIKELLA, N. G., WITTBRODT, B., PEARCE, J. M., "Tensile strength of commercial polymer materials for fused filament fabrication 3D printing", **Additive Manufacturing**, v. 15, pp. 40-47, 2017.

[14] TOLEDO, L.; GARCIA, D.; CRUZ, E.; INTRIAGO, L.; PÉREZ, J. PAIS CHANFRAU, J. Fructosyltransferases and invertases: Useful enzymes in the food and feed industries. In: **Enzymes in Food Biotechnol**. Elsevier; 1st ed. P. 451-469, 2019.

[15] WANG, T. Synthesis of neofructooligosaccharides. **Organic Chemistry Insights**, v.5, p. 1-6, 2015.

[16] ZAMBELLI, P., TAMBORINI, L., CAZZAMALLI, S., PINTO, A., ARIOLI, S., BALZARETTI, S., PLOU F.J., FERNANDEZ-ARROJO, L., MOLINARI, F., CONTI, P., ROMANO, D. An efficient continuous flow process for the synthesis of a non-conventional mixture of fructooligosaccharides. **Food Chemistry**, v. 190, p. 607–613, 2016.

CAPÍTULO

17 Otimização da extração de compostos fenólicos de subprodutos de uva e jabuticaba utilizando solventes

Geovana Marinho do Prado, Maria Olivia dos Santos Oliveira, Glêndara Aparecida de Souza Martins

1. INTRODUÇÃO

As mudanças nos padrões de consumo têm levado a uma crescente demanda por alimentos que ofereçam não apenas praticidade, mas também benefícios à saúde. Consumidores modernos buscam alimentos que, além de serem rápidos e fáceis de preparar, contenham compostos bioativos que proporcionem efeitos positivos à saúde, como antioxidantes que combatem o estresse oxidativo (Delfanian; Sahari, 2020). Além disso, a percepção de produtos como saudáveis e sustentáveis, especialmente os classificados como orgânicos, tem um impacto significativo na decisão de compra dos consumidores (Pedersen; Aschemann-Witzel; Thogersen, 2018).

Frutas como uva e jabuticaba, amplamente reconhecidas por seu alto teor de compostos fenólicos, têm despertado interesse devido ao seu potencial antioxidante. Esses compostos, como as antocianinas, quercetina e resveratrol, são essenciais na prevenção de doenças crônicas e degenerativas, contribuindo para a saúde humana (Morelli; Prado, 2012; Morales et al., 2016). Entretanto, após o processamento dessas frutas na indústria alimentícia, uma grande quantidade de resíduos, como cascas e sementes, é gerada e descartada. Na produção de vinho e suco de uva, esses subprodutos podem representar até 30% do peso inicial da fruta (Ilyas et al., 2021), enquanto na jabuticaba, cerca de 50% do fruto é composto por cascas e sementes (Barroso et al., 2023).

O reaproveitamento desses subprodutos oferece uma oportunidade de reduzir o desperdício, agregando valor à cadeia produtiva por meio da produção de extratos ricos em compostos bioativos (Bueno et al., 2020). Esses extratos, que apresentam elevada atividade antioxidante, podem ser utilizados em diversos setores, incluindo o alimentício e cosmético. Para tornar o processo mais sustentável, solventes *eco-friendly*, como etanol e água, têm sido preferidos, uma vez que são biodegradáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente (Brahmi et al., 2022).

Técnicas de extração, como a extração assistida por ultrassom, têm se mostrado promissoras, permitindo a recuperação eficiente de compostos bioativos com menor consumo de energia e maior rendimento (Koubaa et al., 2015). Essas técnicas não térmicas são ideais para preservar a integridade dos compostos fenólicos, que são sensíveis ao calor, resultando em extratos de alta qualidade com um menor impacto ambiental (Zhu et al., 2017).

Diante disso, o objetivo deste estudo é otimizar a extração de compostos fenólicos de subprodutos da uva (var. Isabel) e da jabuticaba (var. Pingo de Mel) utilizando solventes sustentáveis e técnicas modernas de extração, visando maximizar o potencial antioxidante dos extratos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATÉRIA-PRIMA

As jabuticabas (variedade Pingo de mel) foram colhidas no estádio maturo, após o período de safra (Mês de dezembro, período chuvoso) de 2023, na Fazenda & Vinícola Jabuticabal, em Hidrolândia-GO (Latitude: 16º 57' 44" S, Longitude: 49º 13' 41" W). As uvas (variedade Isabel) foram colhidas no estádio maturo, antes do período de safra (Mês de maio, início do período seco) de 2023, em Itaberaí-GO (Latitude: 16º 01' 13" S, Longitude: 49º 48' 37" W) na Vinícola Goiás.

As matérias-primas foram acondicionadas em embalagens de polietileno e levadas para a sanitização. As uvas e jabuticabas maduras foram selecionadas (retirando impurezas e frutos danificados), lavadas em água corrente e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200 ppm e posterior enxágue. Os frutos foram despolpados em despolpadeira (Modelo Macanuda DM- SP1). As cascas e sementes foram secas a 45 ºC em estufa com circulação de ar forçada, até peso constante. Após secagem, foram separadas (cascas e sementes), trituradas em moinho (TE-633, TEC MILL) obtendo-se pós com granulometria de 20 mesh. Por fim, foram acondicionadas em sacos plásticos e estocadas em freezer à -18ºC até o uso.

2.2. PRODUÇÃO DOS EXTRATOS E SELEÇÃO DE SOLVENTE

Os extratos foram preparados com farinhas secas de cascas e sementes de jabuticabas e uva. Foram preparados extratos hidroalcoólicos com etanol 10%, etanol 50%, etanol 70%, e etanol 80%; extrato aquoso. Para a obtenção dos extratos foi utilizada a razão de 1:20 (m/v) de farinha e solvente avaliado. A mistura foi homogeneizada em vórtex e deixada em maceração por 20 horas a 4º C. Em seguida, foi filtrada em papel filtro, o extrato filtrado foi armazenado em frasco âmbar e armazenado a -18ºC até o momento das análises.

Todos os extratos preparados foram avaliados quanto ao seu teor de compostos fenólicos totais. Mas somente os extratos com melhores resultados (10%, 50% e 80%), foram avaliados quanto a atividade antioxidante (DPPH e ABTS), antocianinas, flavonoides e carotenoides.

2.3. DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

O conteúdo de compostos fenólicos totais dos ensaios extratos hidroalcoólicos, foram determinados pelo método de Folin–Ciocalteau, conforme descrito por Zielinski e Kozłowska (2000) que se baseia na reação colorimétrica de oxidação/redução de fenóis. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de amostra (mg EAG/100g).

2.4. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE (ABTS+) E (DPPH)

Para o ensaio da capacidade de redução do radical ABTS+, o procedimento seguiu o método de Rufino *et al.* (2010). Os extratos em diferentes solventes (30µl) foram colocados para reagir com 3,0 ml de ABTS por 6 min em ambiente escuro. A absorbância medida a 734 nm contra um branco em espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800). Os resultados foram expressos em % de sequestro de radicais livres (% de inibição).

A capacidade de eliminação de radicais livres de DPPH será estimada usando o método proposto por Brand - Williams *et al*., (1995) adaptado por Rufino *et al.* (2010). Os extratos em diferentes solventes (0,1 ml) foram colocados para reagir com 3,9 ml da solução radical DPPH por 30 min em ambiente escuro. A absorbância medida a 515 nm contra um branco em espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800). Os resultados foram expressos em % de sequestro de radicais livres (% de inibição).

2.5. DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE ANTOCIANINAS E FLAVONOIDES

Para a determinação de antocianinas totais e flavonoides, foi seguido o método descrito por Lee e Francis (1972). As leituras para quantificar antocianinas foram realizadas a 535 nm e flavonoides a 374 nm em espectrofotômetro, com os resultados de antocianinas totais será expresso em mg/100g, e os flavonoides em mg/100g.

2.6. OTIMIZAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Diante, aos resultados apresentados foram selecionados os solventes com melhores resultados de extração de compostos fenólicos, atividade antioxidante e compostos bioativos para serem submetidos a otimização de extração assistida por ultrassom. Os solventes foram etanol 50% (casca de jabuticaba), etanol 80% (semente de jabuticaba), etanol 80% (casca de uva) e etanol 10% (semente de uva).

Para otimização do processo de extração de compostos fenólicos por ultrassom foi utilizada a metodologia de superfície de resposta com planejamento fatorial completo 2^3 de acordo com a metodologia descrita por Box e Draper (1987), que tem por finalidade investigar a influência e interação de três fatores com variáveis resposta.

Neste estudo os fatores são a interação do X1 que representa o tempo (min) (20, 40, 60), X2 temperatura (ºC) (30, 50 e 70) e X3 proporção soluto/solvente (g/mL) (1:20, 1:30, 1:40), estes são varáveis independentes. As variáveis dependentes são a quantificação de compostos fenólicos.

As condições ótimas da extração assistida por ultrassom dos compostos fenólicos foram avaliadas em gráficos de superfície de resposta, e foram escolhidas considerando a metodologia de desejabilidade.

Tabela 1. Delineamento experimental Box-Behnken, para os ensaios de extração

Fatores	Código	-1	0	+1
Tempo (min)	X1	20	40	60
Temperatura (ºC)	X2	30	50	70
Soluto/Solvente (g/mL)	1:X3	20	30	40

Fonte: autor, 2024.

A extração assistida por ultrassom foi realizada em sistema de banho ultrassônico com frequência de 40 kHz e potência 250 W. Durante a extração ondas ultrassônicas unidirecionais foram distribuídas dos transdutores no fundo do tanque de aço inoxidável para a água dentro do tanque. Após a sonicação, as amostras foram filtradas em filtro de papel e as análises realizadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. SELEÇÃO DOS SOLVENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO

O conteúdo dos compostos fenólicos totais dos extratos, produzidos a partir das farinhas das cascas e sementes da uva e jabuticaba com diferentes solventes podem ser observados na Tabela 2. O teor de compostos fenólicos totais apresentou diferença significativa ($p<0,05$) entre os solventes utilizados para sua extração. Dentre os solventes analisados, o etanol 80% foi capaz de extrair mais compostos fenólicos das farinhas da casca da uva (321,40 mgEAG/100g), seguido pelos solventes e etanol 50% (308,37 mgEAG/100g), embora os solventes hidroalcoólicos 10, 50, 70 e 80% não tenham apresentado diferença significativa.

A farinha de semente de uva apresentou um teor maior de CFT extraídos com solventes 50% (350,23 mgEAG/100g), 80% (349,77 mgEAG/100g), e 10% (346,05 mgEAG/100g). No entanto, os solventes hidroalcoólicos 10, 50, 70 e 80% não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$).

Já nas farinhas de jabuticaba (Tabela 2), os solventes hidroacoólicos que se sobressaíram na casca foram etanol a 50% (368,84 mgEAG/100g) e 10% (331,16 mgEAG/100g). Nas farinhas de semente de jabuticaba, os solventes 80% (463,72mgEAG/100g) e 70% (433,49 mgEAG/100g) apresentaram as melhores extrações e não diferiram estatisticamente entre si, embora tenham diferido dos demais solventes.

A adição de água aos solventes orgânicos facilita a extração devido os açúcares e proteínas ligados aos compostos fenólicos serem solúveis em água (Zielinski e Kozłowska, 2000). Um maior rendimento de extração de compostos fenólicos pode estar relacionado à natureza e ao grau de polaridade dos solventes (Casa-Grande *et al.,* 2018).

Tabela 2. Teor de Compostos fenólicos (mgEAG/100g) em farinha da casca e semente de Uva e Jabuticaba em diferentes solventes.

Solventes	UVA		JABUTICABA	
	Casca	Semente	Casca	Semente
Etanol 10	306,05 ± 2,12a	346,05 ± 4,01a	331,16 ± 2,09b	232,34 ± 4,23c
Etanol 50	308,37 ± 3,15a	350,23 ± 6,02a	368,84 ± 4,05a	314,42 ± 10,02b
Etanol 70	298,60 ± 1,19a	330,56 ± 11,11a	232,34 ± 6,08d	433,49 ± 9,03a
Etanol 80	321,40 ± 8,32a	349,77 ± 9,18a	297,21 ± 6,10c	463,72 ± 8,05a
Água	200,35 ± 10,01e	186,29 ± 1,22b	131,04 ± 4,33e	195,55 ± 1,06c

Médias ± desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não se diferenciam entre si pelo Teste de tukey com nível de significância $p < 0,05$.

Fonte: autor, 2024.

O estudo seguiu com os solventes Etanol 10, 50 e 80% (Tabela 13), avaliando a atividade antioxidante pelo método DPPH e ABTS, e quantificando antocianinas, flavonoides e carotenoides.

A capacidade de sequestro de radicais livres das farinhas e diferentes concentrações de etanol foi investigada usando o ensaio de DPPH e ABTS. Logo, quanto maior a capacidade de sequestro/inibição do radical, maior a atividade antioxidante. Os resultados (Tabela 3) demonstraram maior percentual de inibição do radical livre dentre as farinhas foi obtido pelo método ABTS (30,84% a 99,57%). Esse método tem sido

utilizado para avaliar compostos de caráter lipofílico e hidrofílico, obtendo resultados com melhor precisão, comparado ao DPPH (8,20 % a 90,79%). Diante disso, os resultados sugerem que os compostos fenólicos presentes nas farinhas FCU, FSU, FCJ, FSJ e FCH possuem um caráter mais polar.

Segundo Melo et al. (2008), a capacidade de sequestro de radicais livres em extratos de frutas pode ser classificada em três categorias: forte, moderada e fraca. Extratos que apresentam uma porcentagem de inibição superior a 70% são considerados como tendo uma forte capacidade de sequestro de radicais livres. Aqueles com uma porcentagem de inibição entre 50% e 70% são classificados como tendo uma capacidade moderada, enquanto extratos com uma porcentagem de inibição inferior a 50% são classificados como tendo uma capacidade fraca de sequestro de radicais livres. Diante disso, FSU, FCJ, FSJ são consideradas com capacidade de inibição forte do radical DPPH, já para o radical ABTS são as farinhas FCU, FSU, FCJ, FSJ e FCH.

Tabela 3. Atividade Antioxidante (% redução de radical), antocianinas e flavonoides (mg/100mg) em farinha de cascas e sementes de Uva e Jabuticaba em solventes hidroalcoólicos.

Solventes/Parâmetro	UVA		JABUTICABA	
	Casca	Semente	Casca	Semente
DPPH (% redução do radical)				
Etanol 10	42,03±0,30b	74,37±0,35b	81,09 ± 0,01a	84,32 ± 0,88a
Etanol 50	11,69±0,35a	86,81 ± 0,45a	75,87 ± 0,11b	89,55 ± 0,51a
Etanol 80	40,04±0,35a	88,30 ± 0,56a	88,05 ± 0,33a	90,79 ± 0,74a
ABTS (% redução do radical)				
Etanol 10	97,54 ± 0,20a	98,69 ± 0,20b	98,12 ± 0,16b	96,67 ± 0,20a
Etanol 50	99,57 ± 0,21a	98,41 ± 0,21a	99,40 ± 0,22b	99,27 ± 0,21a
Etanol 80	85,98 ± 0,20a	98,26 ± 0,40a	98,41 ± 0,10a	98,12 ± 0,20a
Antocianinas (mg/100g)				
Etanol 10	36,50 ± 0,22b	16,50 ± 0,21a	34,44 ± 0,05b	14,50 ± 0,01a
Etanol 50	57,09±0,21a	10,43 ± 0,15b	59,19 ± 0,09a	11,18 ± 0,10a
Etanol 80	26,82 ± 0,06b	16,01 ± 0,76a	27,58 ± 0,08c	9,98 ± 0,01a
Flavonoides (mg/100g)				
Etanol 10	73,21± 0,05b	73,39± 0,19a	126,96,12± 1,23b	49,56± 0,02b
Etanol 50	85,69 ±0,17a	66,42± 0,02b	266,82 ± 8,62a	36,56 ± 0,03b
Etanol 80	71,23 ± 0,06b	43,34 ± 0,11c	114,17 ± 2,21b	72,86 ± 0,06a
Carotenoides (mg/100g)				
Etanol 10	9,02 ± 0,30b	11,94 ± 0,57a	11,86 ± 0,71b	4,44 ± 0,51a
Etanol 50	14,58 ± 0,28a	7,04 ± 0,43b	17,33 ± 3,04a	5,68 ± 0,57a
Etanol 80	6,86 ± 0,08b	3,29 ± 0,31c	9,76 ± 1,90c	6,85 ± 0,31b

Médias ± desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não se diferenciam entre si pelo Teste de tukey com nível de significância $p < 0,05$.

Fonte: autor, 2024.

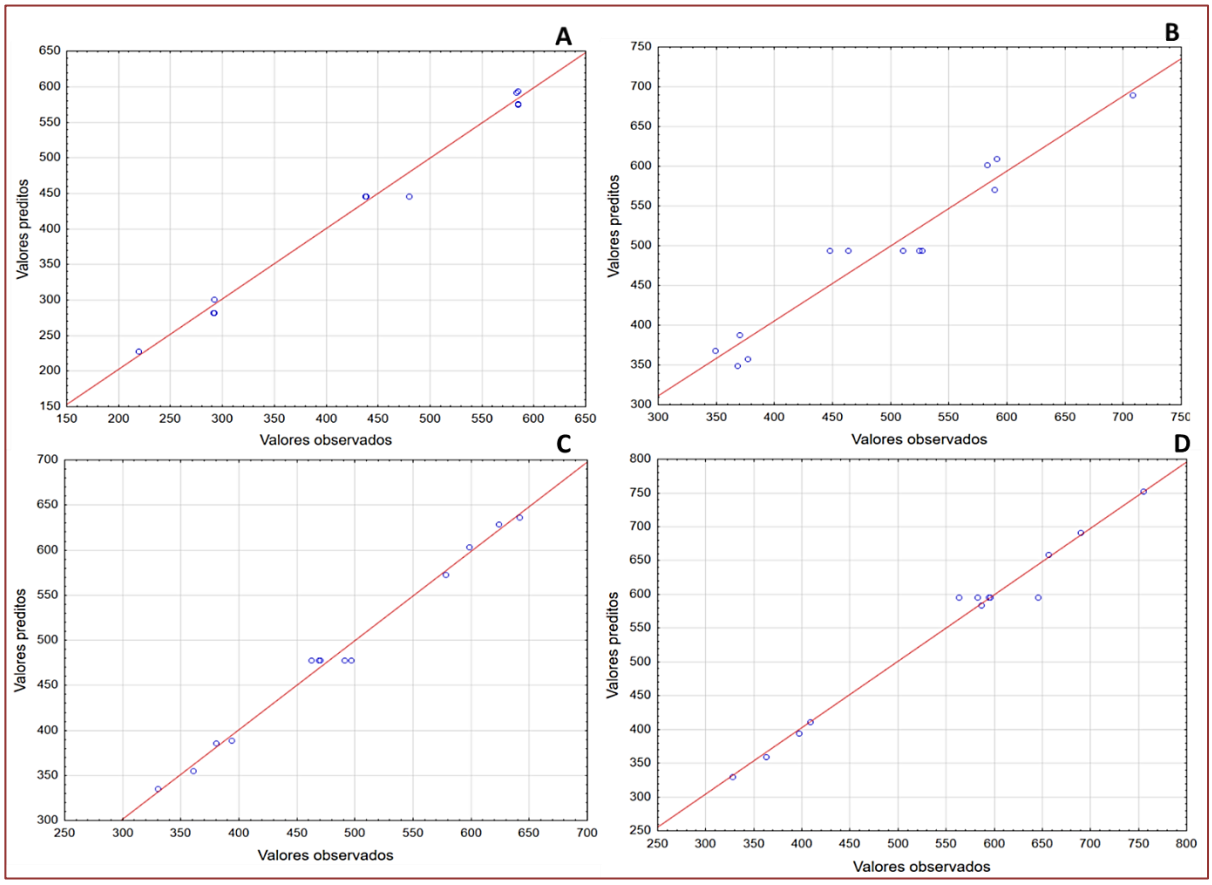
3.2. OTIMIZAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS ASSISTIDA POR ULTRASSOM

O delineamento experimental com três variáveis foi validado pela análise de variância (ANOVA) para todas as matérias-primas. O modelo apresentou coeficientes de determinação R^2 = 98,96% e R^2 = 94,29% (para casca e semente de jabuticaba, respectivamente), e R^2 = 99,09% e R^2 = 98,25% (para casca e semente de uva, respectivamente). Portanto o modelo explicou mais de 90% da variação total das

respostas dos compostos fenólicos para ambas porções de jabuticaba e uva. A variável razão sólido/solvente foi estatisticamente significativa ao nível de significância de 5% ($p<0,05$) para casca e semente de jabuticaba, e casca de uva.

A semente de uva sofreu influência estatisticamente significativa ao nível de significância de 5% ($p<0,05$) de todas as variáveis (Tempo, temperatura e razão amostra/solvente). Desta forma, o modelo é considerado válido no intervalo de 95% de confiança e se ajusta bem aos dados experimentais, o que sugere uma concordância satisfatória entre as respostas obtidas e previstas, sendo que a equação do modelo ajustado poderá prever de forma confiável as condições ideais para extração dos compostos fenólicos. Isso é possível identificar nos gráficos de valores preditos x valores observados (Figura 1).

Figura 1. Valores experimentais e preditos pelo modelo para a resposta compostos fenólicos totais em cascas e sementes de jabuticaba e uva.



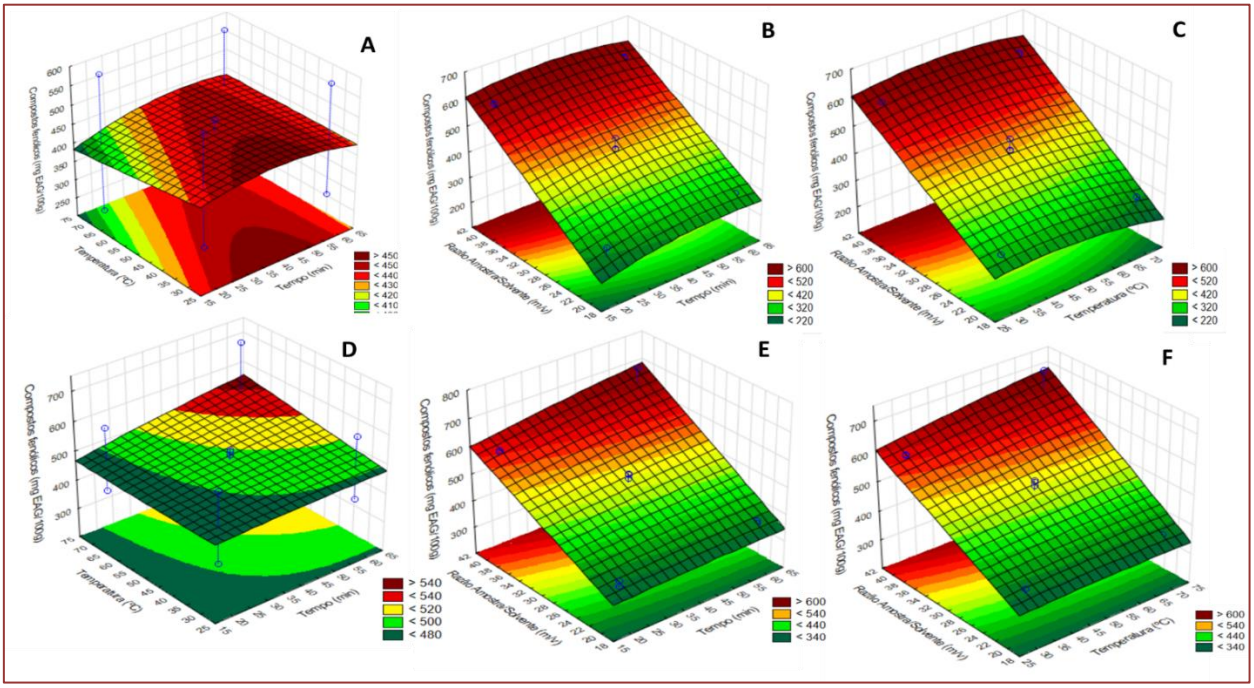
*A=Casca de jabuticaba; B= Semente de jabuticaba; C= Casca de uva; D=Semente de uva.

Fonte: autor, 2024.

Na Figura 2 estão apresentadas as superfícies de resposta para o teor de compostos fenólicos totais, em função do tempo, temperatura e razão sólido-solvente, apresentando as condições ótimas do processo para obter uma maior extração.

A Figura 2A mostra a influência da temperatura sob o tempo, demonstrando que entre 25 e 45 ºC e um tempo entre 25 e 50 minutos no ultrassom a extração é aumentada para casca de jabuticaba. Já para as sementes, a extração é maior em temperaturas mais altas e maior tempo de sonicação (Figura 2E). Um maior tempo de extração contribui na ruptura da parede celular, melhorando a penetração do solvente nas células, pois como as células estarão danificadas, os compostos fenólicos são liberados em níveis mais altos (Kazemi et al., 2016).

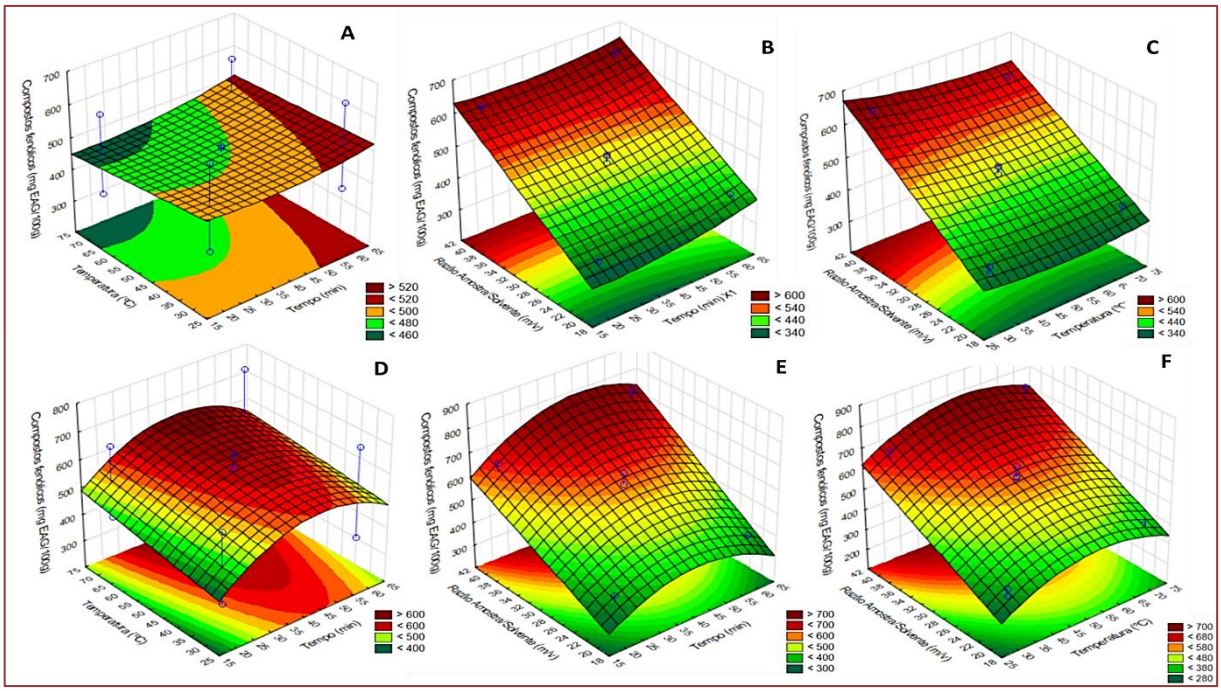
Figura 2. Gráfico de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura versus tempo, razão sólido/solvente versus tempo e razão sólido/solvente versus temperatura no teor de compostos fenólicos totais da extração das cascas e sementes de jabuticaba.



*(A, B e C) Cascas de jabuticaba; (D, E e F) Semente de jabuticaba.

Fonte: autor, 2024.

Figura 3. Gráfico de superfície de resposta mostrando o efeito da temperatura versus tempo, razão sólido/solvente versus tempo e razão sólido/solvente versus temperatura no teor de compostos fenólicos totais da extração das cascas e sementes de uva.



*(A, B e C) Cascas de uva; (D, E e F) Semente de uva.

Fonte: autor, 2024.

A Figura 3 demonstra que quanto maior a quantidade de solvente em razão da amostra, maior será a quantidade de compostos fenólicos extraídos, em todas as temperaturas e tempos analisados. De acordo com Živković et al. (2018) a maior quantidade de solvente é capaz de penetrar nas células vegetais. E ainda, o rendimento da extração é diretamente proporcional à razão entre a quantidade de sólido e a quantidade de solvente utilizado. Isso se deve ao fato de que a transferência de massa é influenciada pelo gradiente de concentração entre o sólido e o líquido. Portanto, se a quantidade de solvente for reduzida, isso afetará a transferência dos compostos fenólicos devido aos diversos equilíbrios que ocorrem durante o processo (Paleologou et al., 2016).

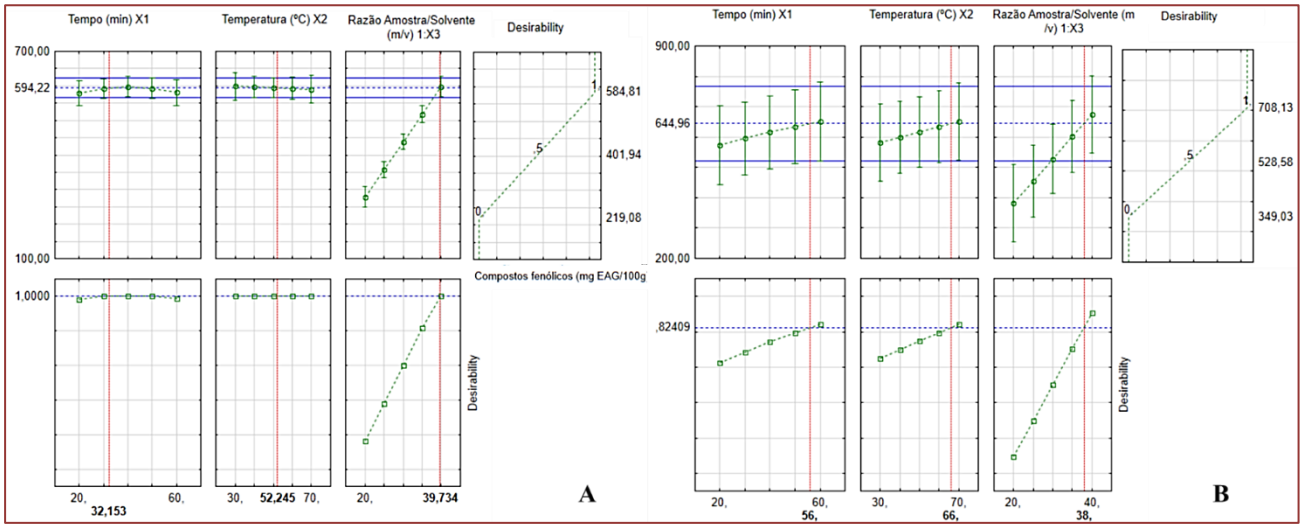
As figuras 3 e 4 trazem os perfis de desejabilidade com as médias de compostos fenólicos, obtidas dos extratos avaliados de casca e semente de jabuticaba e uva.

A extração assistida por ultrassom apresentou alto rendimento em todas as amostras analisadas, melhorando significativamente a extração dos compostos bioativos em comparação com as técnicas de extração convencionais.

O teor de compostos fenólicos (Figura 3A) das cascas da jabuticaba obteve uma média máxima de 584,81 (mgEAG/100g) um aumento de 37,07%, quando comparado a extração convencional (368,84 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 1,0, indicando que foi possível determinar as condições ótima de extração para todos os parâmetros avaliados. As condições foram 32,15 min, 52,245 ºC e 1/39,73 (g/mL) de solvente.

O teor de compostos fenólicos (Figura 3B) da semente da jabuticaba obteve uma média máxima de 708,13 (mgEAG/100g) um aumento de 34,51%, quando comparado a extração convencional (463,72 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 0,824 indicando que foi possível determinar quase que totalmente as condições ótimas de extração para todos os parâmetros avaliados. As condições foram 56 min, 66 ºC e 1/38 (g/mL) de solvente.

Figura 4. Perfil para valores previstos e desejabilidade para melhorar a extração de compostos fenólicos totais em casca (A) e semente (B) de jabuticaba.

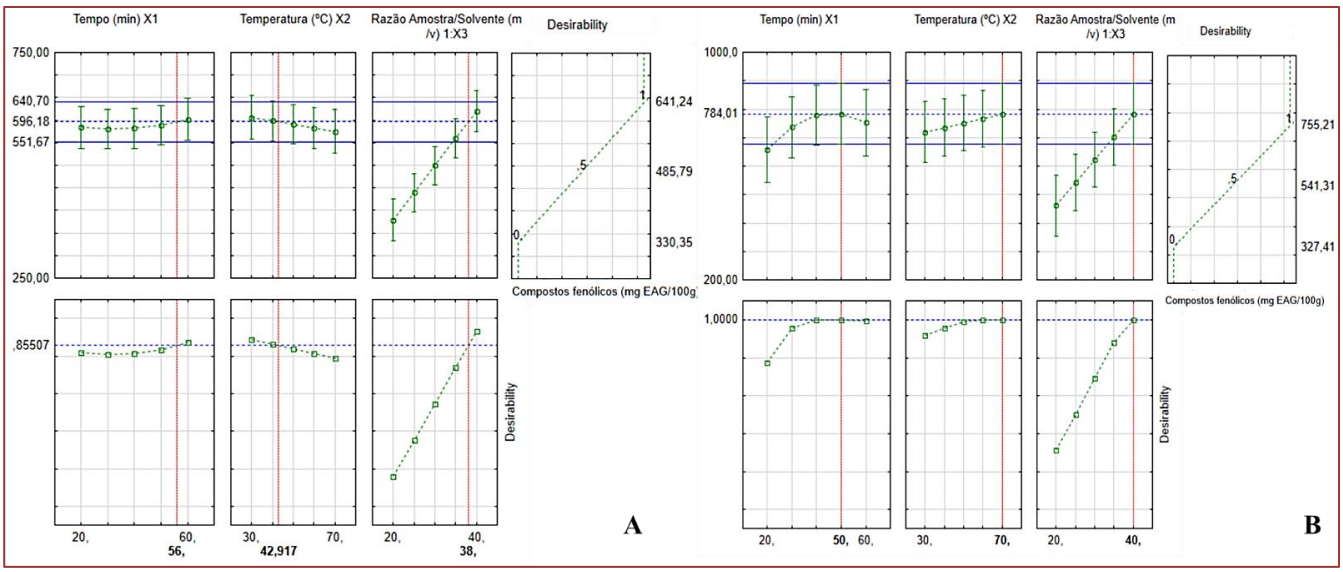


Fonte: autor, 2024.

O teor de compostos fenólicos (Figura 4A) da casca da uva obteve uma média máxima de 641,24 (mgEAG/100g) um aumento de 50,1%, quando comparado a extração convencional (321,40 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 0,855 indicando que foi possível determinar quase que totalmente as condições ótimas estimadas, para extração para todos os parâmetros avaliados. As condições foram 56 min, 42,91 ºC e 1/38 (g/mL) de solvente.

O teor de compostos fenólicos (Figura 4B) da semente de uva obteve uma média máxima de 755,21 (mgEAG/100g) um aumento de 45,8 %, quando comparado a extração convencional (346,05 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 1,0, indicando que foi possível determinar quase que totalmente as condições ótimas estimadas, para extração para todos os parâmetros avaliados. As condições foram 50 min, 70 ºC e 1/40 (g/mL) de solvente.

Figura 5. Perfil para valores previstos e desejabilidade para melhorar a extração de compostos fenólicos totais em casca e semente de uva.



Fonte: autor, 2024.

4. CONCLUSÃO

A otimização do processo de extração de compostos bioativos de subprodutos da uva (var. Isabel) e da jabuticaba (var. Pingo de Mel) foi realizada com sucesso, utilizando a extração assistida por ultrassom obteve-se aumento de até 50,1% na extração. Os extratos concentrados demonstraram ser ricos em compostos bioativos e atividade antioxidante, com destaque para casca de uva e semente de jabuticaba.

As condições ótimas de extração por ultrassom de compostos fenólicos de subprodutos de uva e jabuticaba foram determinadas. Para as cascas de jabuticaba, o tempo ideal foi de 32,15 minutos, com uma temperatura de 52,245 ºC e uma proporção soluto/solvente de 1:39,73 g/mL. Já para as sementes de jabuticaba, as melhores condições foram obtidas com 56 minutos de extração, temperatura de 66 ºC e proporção de 1:38 g/mL. Em relação às cascas de uva, o tempo ótimo foi de 56 minutos, com temperatura de 42,91 ºC e proporção de 1:38 g/mL. Para as sementes de uva, a extração foi mais eficiente com 50 minutos, temperatura de 70 ºC e proporção soluto/solvente de 1:40 g/mL.

Os extratos obtidos apresentam grande potencial para aplicações em alimentos e cosméticos, reforçando a importância do reaproveitamento de subprodutos agrícolas. O uso de solventes sustentáveis e técnicas modernas, como o ultrassom, mostrou-se uma alternativa promissora para maximizar a extração de compostos bioativos, além de contribuir para a sustentabilidade no processamento de alimentos.

REFERÊNCIAS

[1] BARROSO, T. L., CASTRO, L. E., F. BARBERO, G., PALMA, M., CARRERA, C., ROSTAGNO, M. A., & FORSTER-CARNEIRO, T. Optimization of a Microwave-Assisted Extraction Method for the Recovery of the Anthocyanins from Jabuticaba By-Products. **Agronomy**, v. 13, n. 2, 556, 2023.

[2] BRAHMI, F.; MATEOS-APARICIO, I.; GARCIA-ALONSO, A.; ABACI, N.; SAOUDI, S.; SMAIL-BENAZZOUZ, L.; GUEMGHAR-HADDADI, H.; MADANI, K.; BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L. Optimization of Conventional Extraction Parameters for Recovering Phenolic Compounds from Potato (Solanum tuberosum L.) Peels and Their Application as an Antioxidant in Yogurt Formulation. **Antioxidants**, v. 11, p. 1-21, 2022.

[3] BUENO, T. M.; SCHIASSI, M. C. E. V.; SOUZA, R. H.; CARVALHO, G. R.; QUEIROZ, F. Efeito do forneamento e resfriamento em barras de cereais elaboradas com resíduos de uva e de jabuticaba. **Research, Society and Development,** v. 9, n. 11, 2020. e2879119783-e2879119783.

[4] DELFANIAN, M.; KENARI, R. E.; SAHARI, M. A. Antioxidant activity of loquat (Eriobotrya japonica Lindl.) fruit peel and pulp extracts in stabilization of soybean oil during storage conditions. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 12, p. 2813-2824, 2015.

[5] DELFANIAN, M.; SAHARI, M. A. Improving functionality, bioavailability, nutraceutical and sensory attributes of fortified foods using phenolics-loaded nanocarriers as natural ingredients. **Food Research International**, p. 109555, 2020.

[6] FILHO, E. G. A.; SOUSA, V. M.; RODRIGUES, S.; DE BRITO, E. S.; FERNANDES, F. A. N. Green ultrasound-assisted extraction of chlorogenic acids from sweet potato peels and sonochemical hydrolysis of caffeoylquinic acids derivatives. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 63, p. 1-8, 2020.

[7] HARRI, L., PITTERI, P., MERJA, L., MARJO, S., & SAMI, K. Get some respect – buy organic foods! When everyday consumer choices serve as prosocial status signaling, **Appetite**, 2020.

[8] KOUBAA, M.; ROSELLÓ-SOTO, E.; ŠIC Z˘LABUR, J.; REZ˘EK JAMBRAK, A.; BRNC˘IC´, M.; GRIMI, N.; BARBA, F. J. Current and new insights in the sustainable and green recovery of nutritionally valuable compounds from Stevia rebaudiana Bertoni. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 6835–6846, 2015.

[9] LEE, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of Pigment Analyses in Cranberries. **Hort Science**, v. 7, n. 1, p. 83–84, 1972.

[10] MENDES, D. D. C. S. Propriedades funcionais e microencapsulação de extratos da jabuticaba (*Myrciaria Cauliflora*) com aplicabilidade em biscoitos de polvilho. Tese (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, 2021.

[11] MORALES, P; BARROS, L; DIAS, M.I.; SANTOS-BUELGA, C; FERREIRA, I.C; ASQUIERI, E.R; BERRIOS, J.D.J. Non-fermented and fermented jabuticaba (Myrciaria cauliflora Mart.) pomaces as valuable sources of functional ingredients. **Food chemistry**, v. 208, 220-227, 2016.

[12] MORELLI, L. L. L.; PRADO, M. A. Extraction optimization for antioxidant phenolic compounds in red grape jam using ultrasound with a response surface methodology. **Ultrasonics Sono chemistry**, v. 19, n. 6, p. 1144–1149, 2012.

[13] NERI-NUMA, I.A; SANCHO, R.A.S; PEREIRA, A.P.A; PASTORE, G.M. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food Research International**, 103, 345-360, 2018.

[14] PAMBO, K. O., JULIUS J. OKELLO, ROBERT M. MBECHE, JONH N. KINYURU, & MOHAMMED H. ALEMU. (2018). The role of product information on consumer sensory evaluation, expectations, experiences and emotions of cricket-flour-containing buns. Food Research International, 532-541.

[15] PEDERSEN, S., ASCHEMANN-WITZEL, J., & THOGERSEN, J. Consumers' evaluation of imported organic food products: The role of geographical distance,. Appetite, 130, 2018.

[16] RAMONA, T.; IRINA, D.; JONAS, N. Some like it organic, some like it purple and some like it ancient: Consumer preferences and WTP for value-added attributes in whole grain bread. **Food Quality and Preference,** 244-254, 2016.

[17] RIBEIRO, V. M., BEDE, T. P., ROCHA, GA., BARROSO, S., VALENÇA, S., & DE AZEREDO, V. B. High fat diet and high polyphenols beverages effects in enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity. **Nutrición Hospitalaria**, 2017.

[18] RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. D. G.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total

em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).** Comunidado tecnico 127, 2007.

[19] RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. Food Chemistry, 121 (4), 996-1002, 2010.

[20] TAN, B.L.; NORHAIZAN, ME; LIEW, WPP; SULAIMAN, R. Antioxidant and oxidative stress: A mutual interplay in age-related diseases. **Frontiers in pharmacology**, v. 9, n. 1162, 2018.

[21] TRIGO, J. P.; ALEXANDRE, E. M.; SARAIVA, J. A.; PINTADO, M. E. High value-added compounds from fruit and vegetable by-products–Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 60, n. 8, 1388-1416, 2022.

[22] ILYAS, T.; CHOWDHARY, P.; CHAURASIA, D.; GNANSOUNOU, E.; PANDEY, A.; CHATURVEDI, P. Sustainable green processing of grape pomace for the production of value-added products: An overview. **Environmental Technology & Innovation**, 23, 101592, 2021.

[23] ZHU, Z.; GUAN, Q.; KOUBAA, M.; BARBA, F. J.; ROOHINEJAD, S.; CRAVOTTO, G.; XINSUN YANG, X.; LI, S.; HE, J. HPLC-DAD-ESI-MS2 analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound-assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 215, p. 391–400, 2017.

[24] ZIELINSKI, H., KOZŁOWSKA, H. Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Cereal Grains and Their Different Morphological Fractions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48, 2008–2016, 2000.

CAPÍTULO

18 Avaliação do potencial nutricional de farinhas de subprodutos de uva, jabuticaba e hibisco

Maria Olivia dos Santos Oliveira, Geovana Marinho do Prado, Glêndara Aparecida de Souza Martins, Eduardo Ramirez Asquieri

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por práticas mais sustentáveis na produção de alimentos tem incentivado a exploração de subprodutos agroindustriais, que são ricos em compostos bioativos e apresentam potencial para utilização em diversas aplicações. A valorização desses resíduos, os considerando subprodutos, pode trazer benefícios econômicos, ambientais e sociais. A utilização adequada desses materiais pode contribuir para a redução do desperdício, a geração de novos produtos (Rosa *et al.,* 2023).

Frutas, como a uva (*Vitis labrusca*), a jabuticaba (*Plinia cauliflora*) e o hibisco (*Hibiscus sabdariffa*), embora pertençam a diferentes famílias botânicas, são exemplos de matérias-primas que geram subprodutos. Os subprodutos resultantes do processamento destas frutas consistem em uma variedade de resíduos, cada um com características específicas que variam conforme o método de processamento. Esses subprodutos podem incluir cascas, sementes, bagaços, polpa residual e outros componentes descartados durante as etapas de produção (Fidelis *et al.,* 2021; Barroso *et al.,* 2023).

Os resíduos são ricos em compostos bioativos, como antioxidantes, antitumorais, anti-inflamatórios, antidiabéticos, entre outros, bem como em ácidos orgânicos, triacilgliceróis, enzimas, proteínas, fibras dietéticas e outras biomoléculas, aumentando, assim, o valor nutricional dos produtos, diversificando sua oferta e agregando valor ao resíduo (Marzo *et al.,* 2019).

Diante do exposto, as porções subutilizadas dos frutos do hibisco, uva e jabuticaba exibem propriedades atraentes à indústria farmacêutica e alimentícia. Podem ser incorporadas como ingredientes naturais em produtos alimentares, funcionando de forma multifuncional, e na indústria farmacêutica, atuando como pigmento natural e devido às suas propriedades bioativas (Riaz; Chopra, 2018). Além de contribuir para a redução do desperdício de alimentos, essa prática tem potencial para diversificação de cardápios e aumentar a variedade de nutrientes ingeridos, gerando assim novas oportunidades de negócio para a indústria alimentícia e agricultura familiar, e ainda agregando valor aos produtos finais (Mainente *et al.,* 2018; Silva, 2021; Vinha *et al.,*2023b).

No entanto, informações completas sobre esses resíduos, sua disponibilidade, potenciais usos, comparações e restrições de uso, particularidades e influência do cultivo fora do período de colheita ainda precisam ser totalmente elucidadas. Diante disso, o objetivo principal deste estudo é avaliar a composição nutricional de cascas e sementes de uva, jabuticaba e hibisco. Bem como, identificar uma correlação entre composição proximal e mineral desses subprodutos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATÉRIAS-PRIMAS

Uvas (cultivar Isabel) foram colhidas no estágio maturo, anterior ao período de safra (Mês de maio, início do período seco), em Itaberaí – GO, Brazil (Latitude: 16º 01' 13" S, Longitude: 49º 48' 37" W). As jabuticabas (cultivar Pingo de mel) in natura foram colhidas no estágio maturo, após o período de safra (Mês de dezembro, período chuvoso) Hidrolândia-GO, Brazil (Latitude: 16º 57' 44" S, Longitude: 49º 13' 41" W). O hibisco (*Hibiscus sabdariffa*) foi coletado em uma Associação dos Agricultores Familiares, localizada em Bela Vista de Goiás – GO, Brazil (Latitude: 16º 58' 22" S, Longitude: 48º 57' 12" W) após o período normal de frutificação (Mês de julho, período seco). Todas as matérias-primas foram produzidas de forma orgânica, livre de agrotóxicos. Uvas e jabuticabas contaram com irrigação e larga escala de cultivo, ao contrário do hibisco. Todas as matérias-primas foram coletadas em 2022 e 2023.

Após coleta, os vegetais foram acondicionados em embalagens de polietileno e transportadas para o processamento. As uvas e jabuticabas maduras foram selecionadas (retirando impurezas e frutos danificados), lavadas em água corrente e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200 ppm e posterior enxágue. Os frutos da uva e jabuticaba foram despolpados em despolpadeira (Modelo Macanuda DM-SP1), onde peneiras rotativas que separaram a polpa, com a parte fibrosa da casca e da semente. As cascas e sementes foram levadas para secagem a 45 ºC (Lenquiste *et al.,* 2015) em estufa com circulação de ar forçada. Após secagem, casca e semente foram separadas e trituradas em moinho (TE-633, TEC MILL) obtendo-se pós com granulometria de 20 mesh. Por fim, as farinhas obtidas foram acondicionadas em sacos plásticos e estocadas em freezer à -18ºC até o uso.

2.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E NUTRICIONAL

A caracterização física foi realizada em 15 frutos in natura, logo após a colheita. Os frutos foram pesados individualmente em balança analítica para obtenção da massa em gramas. O tamanho (Diâmetro longitudinal e Diâmetro transversal) foi medido em milímetros com paquímetro. Os rendimentos foram calculados a partir da diferença entre os frutos inteiros, e semente e a casca, em porcentagem (%). A composição proximal e demais análises foram realizadas nas farinhas cascas de uva (FCU), farinhas das sementes de uva (FSU), farinhas das cascas de jabuticaba (FCJ), farinhas das sementes de jabuticaba (FSJ), farinhas dos cálices de hibisco (FCH), e farinhas do fruto com sementes de hibisco (FFSH). Foi conduzido um delineamento inteiramente casual simples (DIC) com 3 repetições cada.

2.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E NUTRICIONAL

A composição nutricional e as características físico-químicas das farinhas foram determinadas segundo a *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012): umidade (925,09), cinzas (923,03), lipídios (920,85) proteínas (920,87), fibras (991,43) e carboidratos por diferença.

E pH (981,12) e acidez titulável (947,05). Os resultados foram expressos em gramas por cem gramas (g/100 g). A atividade água (aw) foi determinada por termoconstanter higrométrico elétrico (Aqualab CX-2), realizada a 25 ºC.

O valor energético total foi estimado considerando os fatores de conversão de 4 kcal. g^{-1} para proteínas e carboidratos, e 9 kcal.g^{-1} para lipídios, e expresso em kcal 100.g^{-1} da amostra.

A análise de cor foi realizada a 25 °C usando um colorímetro digital (Minolta CR4000) Fonte de luz em L*, a*, b*, Chroma e Hue no sistema CIELAB. Todas as análises foram realizadas em sextuplicata, e os resultados foram expressos como média ± desvio padrão.

2.4. COMPOSTOS ANTINUTRICIONAIS

Os compostos cianogênicos foram analisados pelo teste de Guignard, utilizando sementes de ameixa como controle (Araujo, 2011). Amostras foram misturadas com água destilada e uma tira de teste com ácido pícrico e carbonato de sódio foi usada para detectar a presença desses compostos. Após 24 horas, se a tira mudasse para vermelho, indicaria a presença de compostos cianogênicos; se permanecesse amarela, indicaria ausência desses compostos.

O teor de oxalato total foi determinado de acordo com Pinheiro et al. (2020). No qual o ácido oxálico foi extraído à quente com ácido sulfúrico, precipitado e quantificado pela titulação do oxalato com permanganato de potássio.

2.5. PERFIL MINERAL

Os minerais foram identificados através de dois métodos de digestão: nitro-perclórica, com temperatura controlada a 210 ºC, e sulfúrica, com temperatura controlada a 350 ºC seguindo a metodologia descrita por Silva (2009). A primeira digestão teve como objetivo analisar os teores de magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), boro (B), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe). O produto da segunda digestão foi utilizado para detectar o nitrogênio total por meio de destilação no micro-kjedahl. A quantificação do fósforo foi realizada utilizando um espectrofotômetro de absorção molecular (modelo 700 plus, FEMTO, São Paulo, Brasil), operando na faixa de luz de 660 nm, enquanto o boro e o enxofre foram analisados na faixa de luz de 420 nm.

O potássio foi detectado por fotometria de chama (Modelo 400, Corning, Nova York, EUA), enquanto magnésio, zinco, cobre e ferro foram medidos utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica com chama (Modelo AAnalyst-400, Perkin Elmer, Waltham, EUA).

2.6. PROPORÇÃO MINERAL

As proporções de minerais são frequentemente mais importantes do que os próprios níveis de minerais individuais porque são úteis para determinar as inter-relações nutricionais e também fornecem informações sobre os muitos fatores possíveis que podem ser representados por uma interrupção de suas relações, como estados de doença, fatores fisiológicos e de desenvolvimento, e os efeitos das dietas (Hoskin, Ireland, 2000; Gemed, 2020). O mol de minerais foi determinado dividindo a massa de minerais com seu peso atômico (K = 39 g / mol, Na = 23 g / mol, P = 31 g / mol, Fe = 56 g / mol; Zn = 65 g / mol; Ca = 40 g / mol) e, em seguida, a razão mineral foi calculada dividindo o mineral do primeiro mol para o mineral do segundo mol (Gemede, 2020). O fator crítico

para as razões minerais será comparado com a referência padrão considerada como aceitável ou não (OMS, 2003).

2.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram realizadas em triplicata. A correlação de Pearson, avaliada ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$) foi realizada no Statsoft Statistica 12.5.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para caracterização física (dados não mostrados), indicaram uvas com 14,8 mm de diâmetro e massa de 2,8 g, características justificadas por sua casca espessa e bagas pequenas, resultando em maior rendimento de casca comparado à jabuticaba. A jabuticaba apresentou peso e tamanho (4,65 g, 20,6 – 20,9 mm) superiores aos relatados por Souza et al. (2021). O hibisco, composto por cálice e fruto com sementes, apresentou o maior rendimento (58,63%), enquanto a jabuticaba e a uva geraram resíduos de 40,7% e 34,16%, respectivamente, após despolpamento. O alto percentual de resíduos destaca a necessidade de seu aproveitamento, podendo ser transformados em subprodutos para as indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas, gerando inovação, novas fontes de renda e redução de desperdícios. A Tabela 1 apresenta os resultados quanto à caracterização físico-química e composição proximal dos subprodutos sob a forma de farinhas.

Tabela 1. Composição proximal e físico-química das farinhas de uva, jabuticaba e hibisco.

Parâmetros	FCU	FSU	FCJ	FSJ	FCH	FFSH
Composição (g/100g)						
Umidade	14,86 ± 0,02	8,24 ± 0,01	10,51 ± 0,08	11,02 ± 0,05	11,92 ± 0,02	10,15± 0,01
Proteína	2,81± 0,19	6,19 ± 0,32	8,06 ± 0,39	6,82 ± 0,23	12,59 ± 0,45	17,46 ± 0,58
Lipídeos	0,90 ± 0,07	8,65 ± 1,34	0,57 ± 0,01	0,38 ± 0,15	1,09± 0,05	3,97 ± 0,12
Cinzas	9,28 ± 0,18	5,69 ± 0,11	3,40 ± 0,11	2,28 ± 0,06	6,43 ± 0,01	3,34 ± 0,20
Carboidratos	59,87 ± 0,06	17,66 ± 0,02	67,24 ± 0,92	75,10 ± 0,12	56,86 ± 0,07	36,94 ± 0,05
Fibras	12,54 ± 2,12	53,57 ± 3,91	10,22 ± 1,83	3,60 ± 0,05	12,48 ± 4,77	27,31 ± 0,75
VET**	293,51 ± 0,20	181,28 ± 0,12	306,33 ± 0,48	331,49 ± 2,28	292,61 ± 0,22	256,73 ± 0,22
Aw*	0,29 ± 0,001	0,33 ± 0,003	0,32 ± 0,002	0,33 ± 0,004	0,57 ± 0,001	0,37 ± 0,002
pH	3,52 ± 0,007	4,13 ± 0,009	3,21 ± 0,01	4,78 ± 0,02	1,88 ± 0,01	3,12 ± 0,01
Acidez tit.***	1,78 ± 0,01	1,60 ± 0,12	1,98 ± 0,01	1,53 ± 0,03	8,7 ± 0,03	1,89 ± 0,04
Cor						
*L**	41,49 ± 0,36	47,11 ± 0,19	41,88 ± 0,14	60,05 ± 0,34	51,79 ± 0,95	65,13 ± 1,14
*a**	4,37 ± 0,25	10,54 ± 0,30	4,35 ± 0,06	5,37 ± 0,37	13,05 ± 0,07	6,48 ± 0,34
*b**	0,63 ± 0,24	10,19 ± 0,46	1,93 ± 0,17	10,97 ± 1,13	6,68 ± 0,41	15,79 ± 1,01
ºHue (h)	12,09 ± 2,68	44,04 ± 0,62	23,33 ± 1,61	64,11 ± 0,88	27,10 ± 1,65	67,68 ± 1,36
Chroma (C*)	4,47± 0,28	14,00 ± 0,53	4,93 ± 0,11	12,57 ± 1,18	14,02 ± 0,11	17,01 ± 0,99
Antinutrientes						
Oxalato total (mg/100g)	27,31 ± 4,78	13,02 ± 3,08	6,79 ± 1,11	20,21 ± 0,73	10,27 ± 5,77	6,73 ± 0,98
Compostos cianogênios	-	-	-	-	-	-

FCU = Farinha da casca da uva; FSU = Farinha da semente da uva; FCJ = Farinha da casca da jabuticaba; FSJ = Farinha da semente da jabuticaba; FCH = Farinha do cálice de hibisco; FFSH = Farinha do fruto com semente de hibisco. *Aw = Atividade de água; ** VET = Valor Energético Total expresso em Kcal/100g; *** Valor expresso em g de ácido cítrico/100 g.

Fonte: Próprio Autor

No geral, os teores de umidade variaram entre 8,24 g/100g (FCU) a 14,86 g/100g (FFSH). Todas as farinhas avaliadas estão dentro dos limites máximos estabelecidos pela RDC 263 (Brasil, 2005), que determina um limite máximo de 15%, para garantir a qualidade de farinhas.

Observa-se que as farinhas apresentaram resultados para Aw (0,29 – 0,56), abaixo de 0,6, o que as conferem maior vida útil, devido a menor disponibilidade de água livre no alimento para o possível desenvolvimento dos microorganismos (Silva *et al.,* 2021). Esse valor também permite com que as farinhas sejam conservadas a temperatura ambiente (Almeida e Schwing, 2018).

O teor de proteína das farinhas variou entre 2,81± 0,19 g/100g (FCU) e 17,46 ± 0,58 g/100g (FFSH), sendo as farinhas de sementes com maior potencial proteico a da uva e do hibisco. A ingestão diária de recomendada de proteína para um adulto saudável, varia em todo o mundo, mas a média é de 0,8 gramas por quilograma de peso corporal/dia. Logo para uma pessoa de 70 kg são necessários 56 gramas (Institute of medicine, 2005; Anvisa, 2005; WHO, 2007). Diante disso, 100 gramas de FFSH atenderia a aproximadamente 31,18% da ingestão diária de proteína.

Já o conteúdo de lipídeos variou entre 0,57 g/100g (FCJ) e 8,65 g/100g (FSU). Teores considerados relativamente baixos em comparação com alimentos ricos em lipídeos, como nozes, sementes de chia, ou abacate. A FSU (8,65 g/100g) pode ser potencialmente promissora para produtos que buscam fornecer uma quantidade de lipídeos moderada. O óleo de semente de uva é rico em ácidos graxos insaturados, onde o ácido linoleico representa 53,6 a 69,6%, seguido pelo ácido oleico 16,2 a 31,2%, ácido palmítico 6,9 a 12,9% e ácido esteárico 1,4 a 4,7% (Sabir, Unve, e Kara, 2012).

Quanto aos teores de cinza, observou-se que a FCU seguida da FSU apresentaram maiores teores, com 9,28 g/100g e 5,69g/100g, respectivamente. Estes altos teores indicam que essas farinhas podem ser ricas em minerais, o que pode agregar valor nutricional. A FCU, com o teor mais elevado de cinzas, demonstra um potencial especialmente promissor para a fortificação de alimentos com minerais essenciais.

O teor de fibra bruta variou de 3,60 a 53,57 g/100g. A ingestão dietética recomendada (IDR) de fibras para adultos saudáveis é entre 25 e 35 g em uma dieta com 2.000 kcal (Brasil, 2003). Portanto, o consumo de FSU (53,57 g/100g) e FFSH (27,31 g/100g) representam mais de 100% do recomendado de ingestão de fibras. A FSU ainda apresenta o menor teor de carboidratos (19,66 ± 0,02 g/100g) e menor valor energético total (181,28 ± 0,12 g/100g).

Alimentos com baixo teor de carboidratos e alto teor de fibras tendem a ter um índice glicêmico mais baixo, provocando um aumento mais lento e gradual nos níveis de açúcar no sangue (Mao *et al.,* 2021; Ni *et al.,* 2022). Isso evita picos glicêmicos, controlando a glicemia, sendo benéfico para pessoas com diabetes ou resistência à insulina (Weickert; Pfeiffer, 2018). Além disso, o alto teor de fibras aumentam a saciedade e atuam como prebióticos, alimentando bactérias benéficas no intestino (Mao *et al.,* 2021).

Além da umidade e da atividade de água, o pH também é um importante parâmetro na determinação da conservação do alimento (Freitas *et al.,* 2015). Os valores de pH e acidez titulável encontrados variaram entre 1,88 e 4,78 e 1,53 e 8,7 g de ácido cítrico/ 100g, respectivamente. As farinhas de cálice de hibisco (FCH) se destacaram por sua alta acidez, seguida das FFSH, FCJ e FCU.

A alta acidez pode auxiliar na conservação do produto, uma vez que limita o crescimento de patógenos, no entanto, em uma possível aplicação tecnológica da farinha, o ajuste de pH e acidez pode ser necessário para atender a requisitos específicos de formulação, sensorial, textura ou estabilidade do produto final (Ott *et al.,* 2000). Além disso, algumas reações químicas, como a fermentação ou a eficácia de certos conservantes, dependem de um pH específico (Hautrive, 2021).

A luminosidade (*L**) está relacionada à quantidade de luz refletida pela superfície das farinhas. Diante desse parametro observa-se que as farinhas mais claras foram as de sementes, que também apresentaram maiores valores para os parâmetros *a** (tons avermelhados) e *b** (tons amarelados), exceto a farinha de semente de hibisco, que tendeu mais para o tom amarelado. As cascas de uva e jabuticaba se mostraram mais escuras, com luminosidade de 41,49 e 51,79, respectivamente, com parametros *a** (4,35 e 4,37) tendendo a tons de vermelho e *b** (0,63 e 1,93) tons de azul. Esses valores seguem a linha da matéria-prima original, refletindo suas características naturais.

Os ângulos de tonalidade ºhue (h) confirmam os resultados, onde as farinhas de cascas de uva e jabuticaba tendem ao vermelho-azulado ou vermelho-violeta e a farinha do cálice vermelho-amarelado. Sementes de uva apresentam tons vermelhos e sementes de jabuticaba e hibisco vermelho-amarelado. A intensidade da cor (C*) variou de 4,47 a 17,1, indicando cores mais neutras, sem brilho.

Os teores de oxalato encontrados nas farinhas foram relativamente baixos (6,73 e 27,31 mg/100g) comparados aos encontrados por Gómez-mejía *et al.* (2021) em sementes de uva variedade Albariño (38,9 mg/100 g), e ainda comparados com cálices e sementes de hibisco cultivados no Egito, com 33,3 mg/100g e 115,2 mg/100g (base seca), respectivamente (Keyata el at., 2020). A ingestão máxima recomendada de oxalato é de até 60mg/100g/dia, especialmente para pessoas com cálculo renal (Massey, Palmer e Horner, 2001). Portanto, as farinhas analisadas, com seus baixos teores de oxalato, são adequadas para consumo seguro dentro das recomendações, oferecendo uma opção nutritiva que pode ser incorporada a dietas específicas sem aumentar significativamente o risco de formação de cálculos renais.

Compostos cianogênios, são considerados antinutricionais, uma vez que tais compostos liberam ácido cianídrico, que por meio da ação de enzimas causam toxidade, podendo levar a intoxicação (Souza, 2023). Desta forma sua ausência é recomendada, fato esse observado em todas as farinhas analisadas.

3.1. COMPOSIÇÃO MINERAL

Um total de onze minerais foram quantificados nas farinhas das matérias primas analisadas e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Teores de macro e microminerais das farinhas de uva, jabuticaba e hibisco.

	FCU	FSU	FCJ	FSJ	FCH	FFSH	RDI**
Macrominerais (mg/100g)							
N	658 ± 0,52	1663 ± 0,63	1070 ± 0,64	991 ± 0,25	1327 ± 0,41	2327 ± 0,25	-
P	98 ± 0,01	217 ± 0,06	109 ± 0,09	150 ± 0,12	260 ± 0,14	431 ± 0,14	700
K	2080 ± 1,61	480 ± 0,52	960 ± 0,24	920 ± 0,42	1760 ± 0,36	1080 ± 2,87	-
Ca	137 ± 0,21	326 ± 0,14	82 ± 0,11	55 ± 0,17	951 ± 0,21	430 ± 0,69	1000
Mg	64 ± 0,12	120 ± 0,42	81 ± 0,87	122 ± 0,56	202 ± 0,61	264 ± 0,63	260
S	17 ± 0,11	33 ± 0,36	24 ± 0,12	66 ± 0,02	96 ± 0,03	126 ± 0,16	-
Soma	3054	2839	2326	2304	4596	4658	
Microminerais (mg/100 g)							
B	1,66 ± 0,23	1,03 ± 0,01	0,92 ± 0,02	0,92 ± 0,14	5,52 ± 0,68	1,61 ± 0,17	-
Cu	0,94 ± 0,12	1,14 ± 0,03	2,47 ± 0,15	1,40 ± 0,21	1,29 ± 0,21	1,06 ± 0,01	0,9
Fe	4,92 ± 2,11	4,95 ± 1,56	6,92 ± 1,41	4,23 ± 2,1	15,67 ± 3,45	5,90 ± 1,96	14
Mn	NI	0,38 ± 0,12	3,09 ± 0,03	3,18 ± 0,09	1,78 ± 0,08	3,10 ± 0,02	2,3
Zn	0,62 ± 0,02	0,55 ± 0,03	1,56 ± 0,14	1,29 ± 0,13	1,93 ± 0,19	3,22 ± 0,11	**7**
Soma	8,14	8,05	14,96	11,02	26,20	14,88	

*NI = Não identificado. *FCU = Farinha da casca da uva; FSU = Farinha da semente da uva; FCJ = Farinha da casca da jabuticaba; FSJ = Farinha da semente da jabuticaba; FCH = Farinha do cálice de hibisco; FFSH = Farinha do fruto com semente de hibisco. **IDR=Ingestão diária recomendada para adultos saudáveis (Brasil, 2005).

Fonte: Próprio Autor.

Em geral as porções que comumente não são comestíveis (semestes) apresentaram os maiores teores em grande parte dos minerais, o que se justifica o processamento total dessas matérias-primas. Os macronutrientes mais abundantes entre as farinhas avaliadas foram o nitrogênio (N) e potássio (K).

As farinhas de hibisco apresentaram os melhores valores de nutrientes, especialmente FFSH com maior teor de N (2327 mg/100g), P (431 mg/100g), Mn (3,10mg/100g) e Zn, enquanto a FCH apresentou o maior teor de K (1760mg/100g), Ca (951 mg/100g) e B (5,52 mg/100g). O alto teor de nitrogênio é indicativo de alto teor de proteína, conforme encontrado foi encontrado nos resultados apresentados na Tabela 2.

As farinhas de hibisco demonstram ser fontes de cálcio (Ca), onde FCH com 951 mg/100 g, ficando próximo da recomendação diária do macronutriente (1000 mg/dia), e FFSH requer o consumo de 232 g para fornecer a RDI. Os resultados sugerem que o consumo de farinhas de cálice (FCH) e fruto com semente (FFSH) do hibisco, podem ser importantes na construção dos ossos, prevenção de coágulos sanguíneos e ainda para contração dos nervos e músculos (National Osteoporosis Foundation, 2016).

A absorção ocorre majoritariamente no intestino delgado (90%) e, em menor grau, no cólon (Bargerlux et al., 1989; Wasserman, 2004). Existem dois processos de absorção: o transporte transcelular, regulado pela vitamina D, e o transporte paracelular, dependente da solubilidade do cálcio e do tempo de permanência no intestino. Para que o cálcio seja biodisponível, ele deve ser absorvido sem precipitar nos intestinos, o que é facilitado por inibidores de precipitação e ligantes complexantes (Vavrusova; Skibsted, 2014). A ausência de inibidores de precipitação e a interação do cálcio com outros componentes pode reduzir sua biodisponibilidade, do cálcio, prejudicando a saúde óssea (Vavrusova; Skibsted, 2014).

O principal micronutriente dentre as farinhas foi ferro (Fe), com destaque para FCH. Embora a biodisponibilidade de ferro em vegetais seja geralmente menor do que de origem animal, o teor de ferro encontrado nas farinhas (4,92 a 15,67), foi maior que o

encontrado em farinhas de vegetais consumidos diariamente, como beterraba (2,1mg/100g), cenoura (1,28mg/100g), e espinafre (12,6 mg/100g) (Zanata *et al.,* 2010). A ingestão de 100 g de farinha de cálice de hibisco fornece a ingestão diária recomendada de ferro. O ferro é essencial para o transporte de oxigênio, funções do sistema imunológico e combate à anemia. Considerando que um terço da população mundial sofre de anemia, as farinhas de uva, jabuticaba e hibisco podem ser valiosas na dieta para aumentar a ingestão de ferro e ajudar a combater essa condição (Cardoso *et al.,* 2024).

Recomenda-se que uma pessoa adulta saudável faça a ingestão de 0,9 mg/100g de cobre, 2,3 mg/100g de Manganês e 7 mg/100g de zinco, por dia. Atendendo a recomendação em 100 gramas consumidas, todas as farinhas apresentam cobre entre 0,94 e 2,47 mg/100g. Quanto ao Mg, as farinhas FCJ, FSJ e FFSH atendem a recomendação em 100 gramas, e a ingestão de Zn a FFSH atenderá caso seja consumido 200 gramas de farinha.

Pesquisadores observaram uma influência significativa na biodisponibilidade e bioacessibilidade de Fe e Zn em alimentos, com a adição de ácidos orgânicos, como ácido cítrico, ácido tartárico, ácido málico e outros (Diaz *et al.,* 2003, Hemalatha *et al.,* 2005). Portanto, alimentos mais ácidos apresentariam teores maiores de Fe e Zn. Corroborando com os resultados da tabela 1, pois as farinhas de hibisco, se mostraram mais ácidas e com maiores teores desses micronutrientes.

Diversos estudos mostraram que as cascas de uva são mais ricas em potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), quando comparadas as sementes de uva, que se mostram abundantes em ferro, manganês e zinco (Gomes *et al.,* 2019; Gülcü *et al.,* 2019). Neste estudo os minerais mais abundantes nas cascas de uva e sementes foram nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca). A farinha da semente de uva, quando comparada com a farinha da casca de uva, tem valores superiores em todos os macrominerais, exceto para potássio. O teor de K, na farinha FCU foi de 4,3 vezes maior que FSU.

Tanto farinha da casca, quanto de semente da jabuticaba, contêm macronutrientes que são essenciais para dieta, com níveis particularmente significativos de nitrogênio, com destaque para FCJ (1070 mg/100g). Os valores superaram os encontrados em por Inada *et al*. (2015) para o fruto integral e as frações de casca e semente secos. Essas farinhas podem ser valiosas adições dietéticas para apoiar a saúde geral e o bem-estar, proporcionando nutrientes importantes que suportam funções corporais cruciais. A presença desses macronutrientes em quantidades adequadas reforça a importância de incluir essas farinhas na alimentação diária para promover uma saúde otimizada e prevenir deficiências nutricionais (Awuchi et al., 2020).

A biodisponibilidade dos minerais para absorção pode ser influenciada por outros componentes da farinha. A interação de certos nutrientes podem influenciar o sistema imunológico e causar reações alérgicas (Keyata *et al.,* 2020). Identificar e compreender estas interações é essencial para a seleção de vegetais que atendam a critérios dietéticos específicos e melhorem a absorção de nutrientes (Gemede, 2020). As proporções entre minerais são muitas vezes mais importantes do que os níveis individuais, pois refletem inter-relações nutricionais e podem indicar condições patológicas, fatores fisiológicos, e efeitos dietéticos (Watts, 2010).

As proporções minerais das farinhas avaliadas são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Proporções minerais das farinhas de uva, jabuticaba e hibisco

Amostras	FCU	FSU	FCJ	FSJ	FCH	FFSH	Limites
Ca/ P	1,08	1,16	0,58	0,28	2,83	0,77	**> 0,5**
Ca/ K	0,06	0,66	0,08	0,06	0,53	0,39	**< 4**
Ca/Mg	1,28	1,63	0,61	0,27	2,82	0,98	**1***
[K/(Ca+Mg)]	8,76	0,94	4,54	3,65	1,40	1,27	**<2,2***
Ca/Fe	0,04	0,09	0,02	0,02	0,08	0,10	**-**
Fe/ Zn	9,19	10,44	5,16	3,81	9,41	2,13	**>2**
Oxalato/Ca	0,009	0,004	0,015	0,023	0,001	0,003	**1**

*FCU = Farinha da casca da uva; FSU = Farinha da semente da uva; FCJ = Farinha da casca da jabuticaba; FSJ = Farinha da semente da jabuticaba; FCH = Farinha do cálice de hibisco; FFSH = Farinha do fruto com semente de hibisco.

Fonte: Próprio Autor

As relações cálcio-fósforo (Ca/ P) das seis farinhas variaram de 0,28 a 1,16. A relação Ca/ P recomendada deve ser de >0,5 para garantir a absorção de cálcio no intestino delgado (Jacob *et al.,* 2015). Para Alinor e Oze (2011) e Chandran *et al.* (2013) a alimentação é considerada boa se a relação Ca/ P for maior que 1,0, e ruim se essa relação for abaixo de 0,5, para uma boa utilização intestinal de Ca e P. Neste estudo as farinhas FCU, FSU, FCJ, FCH e FFSH obtiveram proporções acima do requisito mínimo (0,5), e FCU, FSU e FCH ficaram acima de 1,0, indicando que estas farinhas apresentam uma absorção favorável de cálcio no intestino, para a formação e manutenção óssea, principalmente em crianças e idosos (Adeyeye; Orisakeye; Oyarekua, 2012).

As relações cálcio-potássio (Ca/ K) das farinhas variaram de 0,06 a 0,53. Um nível de Ca/K ideal é 4, para que a absorção de cálcio no intestino e desenvolvimento ósseo seja positiva (Jacob *et al.,* 2015). A relação desses minerais também é denominada de razão tireoidiana, devido ao cálcio e o potássio desempenharem um papel vital na regulação da atividade tireoidiana (Olagbemide; Ojiezeh; Adarabioyo, 2016). Watts (2010) indica que a baixa relação Ca/ K possa estar relacionada ao aumento da expressão tireoidiana (Watts, 2010). Como as relações Ca/K das farinhas são baixas em relação ao limite, a ingestão de outras fontes de cálcio ao consumir as farinhas seria uma estratégia para melhorar a relação.

O cálcio e o magnésio são essenciais ao funcionamento do organismo, visto que são elementos associados, são considerados como "padrão-ouro" quando em questões de saúde relacionadas a minerais (Roth, 2016). Estudos relatam que uma relação Ca/Mg elevada está relacionada a um aumento no nível de insulina (Watts, 2010), e uma redução correspondente está associada à deficiência de cálcio, levando a uma diminuição na proporção disponível para a formação de ossos e dentes (Hathcock, 2014).

As proporções de Ca/Mg nas farinhas ficaram entre 0,27 e 2,82. As farinhas FCU, FSU e FCH foram superiores a 1,0, valor mínimo necessário para a absorção de cálcio (Hailu; Addis, 2016). Farinhas de casca e semente de uva, e de cálice de hibisco apresentaram proporções mais elevadas de cálcio em relação ao magnésio e por isso não apresentam interferência na absorção de magnésio. Em dietas dependentes somente das farinhas FCJ, FSJ e FFSH como fontes alimentares, haveria a necessidade de complemente de cálcio. Uma proporção baixa de Ca/Mg pode sugerir baixos níveis de insulina, o que pode impactar o controle do açúcar no sangue. Também pode indicar uma maior produção de hormônios do córtex adrenal, como o cortisol, que está envolvido na resposta ao estresse e no metabolismo (Roth, 2016).

Tal proporção entre Ca/Mg tem sido relatada como dependente do nível de potássio na dieta devido ao sinergismo entre potássio e magnésio (Roth, 2016). Por isso, a razão miliequivalente [K/(Ca + Mg)] tem sido relatada como um melhor indicador da biodisponibilidade do magnésio na presença de potássio do que a relação cálcio/magnésio isoladamente (Adeyey *et al.,* 2012). Neste estudo, as relações [K/(Ca + Mg)] das farinhas FSU, FCH e FFSH foram inferiores ao limite crítico (2,2), indicando que os teores de cálcio e magnésio foram maiores em relação aos teores de potássio. Portanto, o consumo de 100 g destas farinhas não apresenta risco de hipermagnesemia no homem (Adeyeye *et al.,* 2012).

Estudos indicam que o cálcio (Ca) pode interferir na absorção de ferro (Fe). No entanto, ainda não há uma proporção exata de ingestão de Ca/Fe para evitar interferência na absorção, pois depende de diversos fatores individuais, como idade, sexo, estado de saúde, e a composição geral da dieta (Singh & Prad, 2023). Para minimizar a interferência na absorção de ferro, recomenda-se evitar o consumo de grandes quantidades de cálcio (mais de 500 mg) junto com refeições ricas em ferro e incluir vitamina C na dieta, podem ajudar a mitigar esses efeitos (Hallberg, Brune, Rossander-Hulthén, 1992; Wawrzyniak; Sulibursk a, 2021; Singh; Prad, 2023).

As relações ferro-zinco (Fe/Zn) variaram de 2,13 a 10,44 entre as farinhas. Péres et al. (2001) relataram que o ferro não prejudicou a absorção de zinco até uma proporção de ferro-zinco de 2, em ratos normais. A partir desse ponto, foi observado um efeito dose-dependente, ou seja, quanto maior a proporção de ferro em relação ao zinco, maior foi a inibição na absorção de zinco, até atingir uma proporção de 5. No entanto, quando a relação foi aumentada para 10, não houve mais uma inibição adicional na absorção de zinco. Nos ratos deficientes em ferro, não houve alterações na absorção e retenção zinco.

Peres et al. (2001) relataram que o ferro não prejudicou a absorção de zinco até uma relação Fe de 2:1 em ratos normais. A partir dessa proporção, foi observado um efeito dose-dependente, onde o aumento na proporção de ferro em relação ao zinco levou a uma maior inibição na absorção de zinco, até alcançar uma proporção de 5:1. Contudo, ao aumentar a relação para 10:1, não houve inibição adicional na absorção de zinco. Em ratos com deficiência de ferro, não foram observadas alterações na absorção e retenção de zinco. As relações Fe nas farinhas variaram de 2,13 a 10,44, indicando que o ferro presente possivelmente não prejudicou a absorção de zinco. Dessa forma, o consumo das farinhas analisadas pode ajudar a corrigir deficiências de ferro e zinco, que são conhecidas por impactar o crescimento, o desenvolvimento cognitivo e a função imunológica.

Keyata *et al*. (2020) obtiveram relações de Ca/ P (9,5), Ca/ K (8,9) Fe/ Zn (7,9) em cálices vermelhos de hibisco cultivados no Egito. Encontraram relações minerais para sementes de hibisco, Ca/ P (2,8), Ca/ K (1,8) Fe/ Zn (1,7). Não foram encontradas na literatura proporções destes nutrientes para jabuticaba e uva.

Para avaliar se há uma má absorção do cálcio em relação a quantidade de oxalato presente nas farinhas, a proporção oxalato/Ca foi calculada (Tabela 4). Uma relação oxalato/cálcio maior que 1 poderia comprometer a absorção de cálcio (Frontela, Ros, & Martínez, 2009; Gemede, 2020). Uma ingestão reduzida de cálcio leva a uma maior absorção intestinal de oxalato, o que por si só pode ser responsável por um risco aumentado de formação de cálculos. Suplementos de cálcio podem reduzir a absorção de oxalato porque o cálcio se liga ao oxalato dietético no lúmen intestinal (Roja, 2019). Considerando os teores de cálcio mostrados na Tabela 3 e o teor de ácido oxálico na Tabela 2, a relação oxalato/Ca foi inferior a 1 em todas as amostras de farinhas, com

valores médios de 0,001 a 0,021. Assim, a presença de ácido oxálico em relação ao cálcio não compromete a bioacessibilidade do cálcio.

3.2. CORRELAÇÃO ENTRE COMPOSIÇÃO PROXIMAL E MINERAL

Para analisar de que forma a composição proximal (Umidade, proteínas, lipídeos, carboidratos e fibras), o pH e acidez total, e o teor de minerais (macro e micro) se relacionavam entre si nas farinhas, a matriz de correlação é apresentada na Tabela 4. O coeficiente de correlação (r) mede o grau de relação entre duas variáveis, variando de -1 a 1. Valores positivos indicam que as variáveis crescem no mesmo sentido, enquanto valores negativos indicam que crescem em sentidos opostos. Conforme estabelecido por Baba et al. (2014), os graus de correlação podem ser classificados como muito fortes (r ≥ 0,9), fortes (r = 0,7 a 0,89), moderados (r = 0,4 a 0,69), fracos (r = 0,2 a 0,39) e muito fracos (r = 0,0 a 0,19).

Observou-se uma correlação negativa significativa (p < 0,05) muito forte entre carboidratos e lipídeos (r = -0,96) indicando quanto maior o teor de lipídeos, menor será o teor de carboidratos e vice-versa. Esse comportamento pode ser explicado pela densidade energética dos lipídeos (9 kcal/g), que é mais que o dobro que os carboidratos (4 kcal/g). Além disso, pode estar relacionada a processos metabólicos dos frutos, onde a produção de diferentes compostos, como carboidratos e lipídeos, é resultado de vias metabólicas que podem competir entre si. Assim, a presença de maiores quantidades de lipídeos pode refletir um redirecionamento metabólico que resulta em menor acúmulo de carboidratos.

Outra correlação negativa muito forte (p < 0,05) foi observada entre carboidratos e fibras (r = -0,96). Fibras são um tipo de carboidrato que não é digerível e não fornece calorias. Portanto, alimentos ricos em fibras podem ter menos carboidratos digeríveis (como açúcares e amidos), resultando numa correlação negativa entre carboidratos totais e fibras. Já a correlação negativa forte e significativa entre carboidratos e fósforo (r = -0,94) pode ser explicada pelo fato de que fósforo é um mineral presente em muitas fontes de proteínas, que geralmente são ricas em lipídeos. Dessa forma, alimentos ricos em proteínas e lipídeos tendem a ter menor quantidade de carboidratos.

Além disso, foram observadas correlações negativas significativas fortes entre cinzas e manganês (r = -0,89), e entre o pH e os minerais boro e ferro (r = -0,82; r = -0,86). A correlação negativa entre pH e Fe, por exemplo, sugere que valores mais baixos de pH, indicando maior acidez, estão associados a maiores teores de ferro, corroborando estudos anteriores (Diaz *et al.,* 2003; Hemalatha *et al.,* 2005). Por outro lado, correlações positivas significativas muito fortes foram encontradas. Como a correlação entre umidade e manganês (r = 0,98), que pode ser explicada pelo fato de alimentos com maior teor de umidade tendem a ter uma maior mobilidade de íons, incluindo disponibilidade (Wickramasinghe *et al.,* 2023).

Lipídeos e fibras apresentaram correlação positiva significativa com fósforo (r = 0,99; r = 0,98), enquanto cinzas correlacionaram-se com cromo (r = 0,89), e nitrogênio com magnésio (r = 0,84). Além disso, cálcio apresentou forte correlação com boro e ferro (r = 0,92; r = 0,89), assim como magnésio com enxofre e zinco (r = 0,97; r = 0,86), indicando que essas variáveis crescem juntas.

A correlação entre proteínas, nitrogênio, magnésio, enxofre e zinco pode ser atribuída ao papel crucial desses elementos na estrutura e funcionamento das proteínas,

como o nitrogênio, essencial na composição de aminoácidos, e o magnésio, fundamental na fotossíntese e estabilização de estruturas celulares (Malvi, 2011). O fósforo mostrou correlação com lipídeos, refletindo sua importância na formação de fosfolipídios e ATP (Biel *et al*., 2021). Já a correlação entre cálcio e boro pode estar relacionada à mobilização do cálcio nas plantas.

Tabela 4. Matriz de correlação de Pearson entre composição proximal e mineral das farinhas.

	Umid	Prot	Lip	Cin	Carb	Fib	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Umid	1	0,65	-0,38	-0,86*	0,27	-0,45	0,35	-0,38	-0,55	-0,01	0,52	0,64	-0,03	0,36	0,05	0,98*	0,76
Prot		1	0,07	-0,44	-0,31	0,066	0,82*	0,05	-0,23	0,58	0,94*	0,92*	0,37	-0,04	0,41	0,57	0,95*
Lip			1	0,04	-0,96*	0,99*	0,6	0,98*	-0,33	0,11	0,19	0	-0,22	-0,36	-0,24	-0,4	-0,13
Cin				1	-0,02	0,12	-0,38	0,017	0,89*	0,237	-0,31	-0,38	0,35	-0,47	0,2	-0,89*	-0,48
Carb					1	-0,96*	-0,76	-0,94*	0,28	-0,29	-0,4	-0,2	0,06	0,36	0,07	0,3	-0,09
Fib						1	0,58	0,97*	-0,25	0,14	0,17	-0,03	-0,19	-0,34	-0,2	-0,45	-0,14
N							1	0,56	-0,43	0,38	0,84*	0,72	0,02	-0,23	0,04	0,28	0,7
P								1	-0,34	0,17	0,18	0,01	-0,14	-0,33	-0,15	-0,39	-0,18
k									1	0,36	-0,13	-0,12	0,57	-0,44	0,4	-0,62	-0,21
Ca										1	0,66	0,6	0,92*	-0,29	0,89*	-0,09	0,39
Mg											1	0,97*	0,43	-0,33	0,39	0,4	0,86*
S												1	0,44	-0,31	0,39	0,51	0,87*
B													1	-0,2	0,95*	-0,11	0,25
Cu														1	0,06	0,53	0,03
Fe															1	0,03	0,29
Mn																1	0,69
Zn																	1

*Correlação significativa ao nível de 5%

4. CONCLUSÃO

Os resultados indicaram um excelente teor de proteína, destacando-se as farinhas de sementes de uva e hibisco. A FSU se apresentou promissora para produtos com quantidades moderadas de lipídeos. Os teores de cinza foram altos na FCU e FSU, indicando riqueza em minerais. O teor de fibra em FSU e a FFSH atendendo mais de 100% da ingestão dietética recomendada de fibras.

As farinhas de hibisco demonstraram ser fontes significativas de cálcio e ferro, destacando-se a FCH. Os níveis de oxalato foram baixos, adequados para consumo seguro, e todas as farinhas estavam isentas de compostos cianogênicos. Em relação aos minerais, a FSU apresentou altos valores, exceto em potássio, e as farinhas de hibisco foram fontes notáveis de cálcio e ferro. O consumo regular das farinhas de uva, jabuticaba e hibisco, especialmente FCH e FFSH, pode aumentar a ingestão de nutrientes essenciais, promovendo saúde e bem-estar.

A análise das farinhas destacou a importância das proporções entre os minerais para a saúde. A maioria das farinhas tem níveis adequados de cálcio e fósforo para promover a saúde óssea e uma boa função tireoidiana. Algumas farinhas também têm

boas proporções de cálcio e magnésio, embora o consumo exclusivo possa levar a deficiências de magnésio. A relação entre ferro e zinco é desequilibrada, com excesso de zinco, o que pode causar problemas de saúde. A presença de ácido oxálico não compromete a absorção de cálcio.

As correlações entre a composição dos alimentos e os minerais mostram que nutrientes como carboidratos, lipídeos, fibras e vários minerais estão inter-relacionados. Alimentos ricos em um componente tendem a ter menos de outro, enquanto outros nutrientes, como proteínas e minerais, mostram uma tendência a coexistir em altas quantidades. Essas inter-relações são essenciais para a saúde e o equilíbrio nutricional.

Os dados indicam que uma grande proporção das matérias-primas (resíduos) não é utilizada diretamente no consumo, o que destaca a importância de estratégias para o aproveitamento dos resíduos. A transformação desses resíduos em subprodutos pode reduzir o desperdício e gerar novas fontes de renda, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e inovação nas indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas.

REFERÊNCIAS

[1] AWUCHI, C. G., IGWE, V. S., & AMAGWULA, I. O. (2020). Nutritional diseases and nutrient toxicities: A systematic review of the diets and nutrition for prevention and treatment. International Journal of Advanced Academic Research, 6(1), 1-46.

[2] BARGER-LUX, M. J., HEANEY, R. P., & RECKER, R. R. (1989). Time course of calcium absorption in humans: evidence for a colonic component. Calcified tissue international, 44, 308-311.

[3] BARROSO, T. L., CASTRO, L. E., F. BARBERO, G., PALMA, M., CARRERA, C., ROSTAGNO, M. A., & FORSTER-CARNEIRO, T. Optimization of a Microwave-Assisted Extraction Method for the Recovery of the Anthocyanins from Jabuticaba By-Products. **Agronomy**, v. 13, n. 2, 556, 2023.

[4] CARDOSO, M. A. et al. Prevalence and correlates of childhood anemia in the MINA-Brazil birth cohort study. **Revista de Saúde Pública,** v. 57, n. Suppl 2, p. 6s, 2023.

[5] CARVALHO, F., LAHLOU, R. A., & SILVA, L. R. (2024). Phenolic Compounds from Cherries and Berries for Chronic Disease Management and Cardiovascular Risk Reduction. Nutrients, 16(11), 1597.

[6] CHEN, R., QI, Q. L., WANG, M. T., & LI, Q. Y. (2016). Therapeutic potential of naringin: an overview. Pharmaceutical biology, 54(12), 3203-3210.

[7] DUFLOS, C., BELLATON, C., PANSU, D., & BRONNER, F. (1995). Calcium solubility, intestinal sojourn time and paracellular permeability codetermine passive calcium absorption in rats. The Journal of nutrition, 125(9), 2348-2355.

[8] FREITAS, E. C.; BARRETO, E. S.; BARROS, H. E. A.; SILVA, A. C.M.; SILVA, M. V. (2015). Processamento e caracterização físico-química de farinhas de resíduos de polpas de frutas congeladas da Theobroma grandiflorume Fragaria vesca. **Revista Brasileirade Produtos Agroindustriais**, 17(4), 425-432.

[9] FIDELIS, M.; SANTOS, J. S.; ESCHER, G. B.; ROCHA, R. S.; CRUZ, A. G.; CRUZ, T. M.; GRANATO, D. Polyphenols of jabuticaba [Myrciaria jaboticaba (Vell.) O. Berg] seeds incorporated in a yogurt model exert antioxidant activity and modulate gut microbiota of 1, 2- dimethylhydrazine- induced colon cancer in rats. **Food Chemistry**, 334, p. 127565, 2021.

[10] GANESHPURKAR, A., & SALUJA, A. K. (2017). The pharmacological potential of rutin. **Saudi pharmaceutical journal,** 25(2), 149-164.

[11] GÓMEZ-MEJÍA, E.; RORIZ, C. L.; HELENO, S. A.; CALHELHA, R.; DIAS, M. I.; PINELA, J., ... & BARROS, L. (2021). Valorization of black mulberry and grape seeds: Chemical characterization and bioactive potential. **Food Chemistry**, 337, 127998.

[12] GOMES, T. M., TOALDO, I. M., DA SILVA HAAS, I. C., BURIN, V. M., CALIARI, V., LUNA, A. S., BORDIGNON-LUIZ, M. T. Differential contribution of grape peel, pulp, and seed to bioaccessibility of

micronutrients and major polyphenolic compounds of red and white grapes through simulated human digestion. **Journal of Functional Foods,** 52, 699–708, 2019.

[13] GÜLCÜ, M., USLU, N., ÖZCAN, M. M., GÖKMEN, F., ÖZCAN, M. M., BANJANIN, T., LEMIASHEUSKI, V. The investigation of bioactive compounds of wine, grape juice and boiled grape juice wastes. **Journal of Food Processing and Preservation**, 43(1), 1–14, 2019.

[14] HANSEN, C., WERNER, E., ERBES, H. J., LARRAT, V., & KALTWASSER, J. P. (1996). Intestinal calcium absorption from different calcium preparations: influence of anion and solubility. Osteoporosis international, 6, 386-393.

[15] INADA, K. O. P.; LEITE, I. B.; MARTINS, A. B. N.; FIALHO, E.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; PERRONE, D. M. **Food Research International**, 147, 110518, 2021.

[16] KEYATA, E. O., TOLA, Y. B., BULTOSA, G., FORSIDO, S. F. Proximate, mineral, and anti-nutrient compositions of underutilized plants of Ethiopia: Figl (Raphanus sativus L.), Girgir (Eruca sativa L) and Karkade (Hibiscus sabdariffa): Implications for in-vitro mineral bioavailability. **Food Research International**, v. 137, p. 109724, 2020.

[17] MAINENTE, F.; MENIN, A.; ALBERTON, A.; ZOCCATELLI, G.; RIZZI, C. Evaluation of the sensory and physical of meat and fish derivatives containing grape pomace powder, **International Journal of Food Science and technology**, v. 54, p. 952-958, 2018.

[18] MAO, T., HUANG, F., ZHU, X., WEI, D., & CHEN, L. (2021). Effects of dietary fiber on glycemic control and insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. Journal of Functional Foods, 82, 104500.

[19] MARZO, C.; DÍAZ, A. B.; CARO, I.; BLANDINO, A. Valorization of agro industrial wastes to produce hydrolytic enzymes by fungal solid-state fermentation. Waste Management and Research, v. 37, n. 2, p. 149–156, 2019

[20] MASSEY, L. K.; PALMER, R. G.; HORNER, H. T. Oxalate content of soybean seeds (Glycine max: Leguminosae), soyfoods, and other edible legumes. Journal of agricultural and food chemistry, 49(9), 4262-4266, 2001.

[21] NATIONAL OSTEOPOROSIS FOUNDATION. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis; National Osteoporosis Foundation: Washington, DC, USA, 2010.

[22] NI, Y., ZHENG, A., HU, Y., RONG, N., ZHANG, Q., LONG, W., ... & FU, Z. (2022). Compound dietary fiber and high-grade protein diet improves glycemic control and ameliorates diabetes and its comorbidities through remodeling the gut microbiota in mice. Frontiers in Nutrition, 9, 959703.

[23] ROSA, R. G.; SGANZERLA, W.G.; BARROSO, T.L.C.T.; CASTRO, L.E.N.; BERNI, M.D.; FORSTER-CARNEIRO, T. Sustainable bioprocess combining subcritical water pretreatment followed by anaerobic digestion for the valorization of jabuticaba (Myrciaria cauliflora) agroindustrial by-product in bioenergy and biofertilizer. Fuel, 334, p. 126698, 2023.

[24] SABIR, A.; UNVER, A.; KARA, Z. The fatty acid and tocopherol constituents of the seed oil extracted from 21 grape varieties (Vitis spp.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 92(9), 1982-1987, 2012.

[25] SHARIFI-RAD, J., QUISPE, C., CASTILLO, C. M. S., CAROCA, R., LAZO-VÉLEZ, M. A., ANTONYAK, H., ... & CHO, W. C. (2022). [Retracted] Ellagic Acid: A Review on Its Natural Sources, Chemical Stability, and Therapeutic Potential. Oxidative medicine and cellular longevity, 2022(1), 3848084.

[26] SILVA, M. E. D. S. Extração e microencapsulação de polifenóis do bagaço da uva (Vitis labrusca. Var. Isabel): ação das microcápsulas sobre a estabilidade oxidativa de hambúrguer bovino. Dissertação (Mestrado), João Pessoa. 2021

[27] SOUSA, H. M. S., LEAL, G. F., GUALBERTO, L. S., FREITAS, B. C. B., GUARDA, P. M., BORGES, S. V., ... MARTINS, G. A. S. Exploration of the chemical characteristics and bioactive and antioxidant potential of tucumã (Astrocaryum vulgare), peach palm (Bactris gasipaes), and bacupari (Garcinia gardneriana) native Brazilian fruits. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-14, 2023.

[28] VASEY, C. (2020). Good sugar, bad sugar: how to power your body and brain with healthy energy. Simon and Schuster.

[29] VAVRUSOVA, M., & SKIBSTED, L. H. (2014). Calcium nutrition. Bioavailability and fortification. LWT-Food Science and Technology, 59(2), 1198-1204.

[30] VINHA, A. F.; SOUSA, C. Valorization of lychee fruit peels waste for the sustainable production of value-added ingredient. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 26, p. e2023027, Jul 2023b

[31] WALKER, R. P., BONGHI, C., VAROTTO, S., BATTISTELLI, A., BURBIDGE, C. A., CASTELLARIN, S. D... & FAMIANI, F. (2021). Sucrose metabolism and transport in grapevines, with emphasis on berries and leaves, and insights gained from a cross-species comparison. International Journal of Molecular Sciences, 22(15), 7794.

[32] WASSERMAN, R. H. (2004). Vitamin D and the dual processes of intestinal calcium absorption. The Journal of nutrition, 134(11), 3137-3139.

[33] WEICKERT, M. O.; PFEIFFER, A. F. Impact of dietary fiber consumption on insulin resistance and the prevention of type 2 diabetes. **The Journal of nutrition**, 148(1), 7-12, 2018.

CAPÍTULO

19 Determinação da atividade antioxidante em pães enriquecidos com sapucaia

Maria Luciana Barbosa Mendes, Yuri Vinicius da Silva, Jucimara Silva, Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues, Douglas Martins da Costa, Caroline Roberta Freitas Pires, Emerson Adriano Guarda, Patrícia Martins Guarda

1. INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos pouco usuais no Brasil tem se destacado, demonstrando uma procura por variedade alimentar e a apreciação da biodiversidade brasileira. Ingredientes como a farinha de pupunha, tucumã e o pequi estão tornando-se populares, não só pela sua característica única, mas também pelos benefícios nutricionais que proporcionam. Esta tendência está impulsionando a culinária local, promovendo a inovação e a criatividade entre cozinheiros e clientes. Ademais, o consumo desses alimentos auxilia no fortalecimento das comunidades tradicionais e na manutenção de práticas culturais, estabelecendo uma ligação mais intensa entre os indivíduos e o patrimônio alimentar do país. Portanto, a valorização de alimentos pouco usuais não só enriquece a alimentação, como também promove a sustentabilidade e a sustentabilidade alimentar (VALE et al., 2022).

A utilização de ingredientes pouco conhecidos em produtos de panificação está se tornando uma tendência inovadora e sustentável. Ingredientes como farinhas de grãos alternativos, como pupunha, bacaba, amaranto e buriti, estão sendo empregados na elaboração de pães e bolos que apresentam perfis nutricionais mais elevados e sabores únicos. Tais estratégias agregam valor nutricional aos alimentos, atendem às necessidades nutricionais específicas, como as sem glúten, além de oferecer diferentes experiências sensoriais ao consumidor (ALVES et al., 2020).

A população brasileira consome cerca de 7 milhões de toneladas de produtos de panificação anualmente (SEBRAE, 2017). Os panificados são presença constante na mesa dos brasileiros, podem ser encontrados em diversas conformações: pães, bolos, salgados, biscoitos e bolachas compreendem uma parcela do que é consumido diariamente pelo consumidor brasileiro (GHENO et al 2022). Sendo assim, é natural que a indústria de alimentos explore essa preferência e lance cada vez mais produtos de panificação objetivando conquistar o consumidor por meio dessa preferência.

Explorando a atração dos consumidores por produtos de panificação, a indústria alimentícia, ao longo dos anos, lançou diversos panificados no mercado. Entretanto, com as mudanças no perfil dos consumidores, que se encontram mais atentos à composição dos alimentos e buscam cada vez mais alimentos que não somente oferecem saciedade mas também oferecem benefícios à saúde, tornou-se comum encontrar no mercado os chamados alimentos funcionais (ALVES et al., 2020).

Alimentos funcionais compreendem o conjunto de alimentos que além da nutrição básica fornecem ao consumidor componentes que propiciam benefícios a saúde, tais como compostos bioativos, vitaminas e minerais pouco convencionais, componentes que beneficiam a saúde metabólica do organismo (ALVES et al., 2020). Para conferir tais funcionalidades aos produtos a indústria alimentícia precisou explorar fontes pouco

convencionais de nutrição, graças a isso atualmente é possível encontrar no mercado produtos derivados de castanhas, óleos essenciais e outros mais (SILVEIRA; VIANNA; MOSEGUI., 2009).

Os padrões alimentares são reflexos dos hábitos adquiridos ao longo da vida humana, os parâmetros sociais, culturais e as experiências individuais afetam diretamente as escolhas alimentares de cada pessoa (OLIVEIRA, 2020), os costumes incutidos nas fases iniciais da vida costumam permanecer com as pessoas até o fim da vida, no entanto, os hábitos alimentares podem ser mudados de acordo com o padrão de vida no qual o indivíduo se encontra. Na última década, drásticas alterações ocorreram no padrão alimentar dos brasileiros (CUNHA et al., 2022), o consumo de alimentos processados e ultraprocessados, ricos em sais, gorduras e açúcares, superou o consumo de alimentos in natura e minimamente processados.

A procura por alimentos com melhores características nutricionais e propriedades funcionais cresceu entre os consumidores e despertou o interesse da indústria de alimentos. Com esperança de encontrar nas prateleiras do comércio, alimentos que promovam a saúde, o consumidor deixa de lado a maior fonte de alimentos saudáveis disponível: a natureza (DE ALMEIDA et al., 2020).

O consumo de alimentos pouco convencionais está relacionado à tradicionalidade, e aos costumes alimentícios, geralmente herdados das culturas das quais os indivíduos descendem (OLIVEIRA, 2020), que costumam impactar na rotina alimentar. No Brasil, habitualmente as comunidades indígenas, quilombolas e ribeirinhas, incluem em suas dietas alimentos que convencionalmente não estão presentes na alimentação dos demais brasileiros. Culturalmente essas comunidades têm por hábito a exploração dos alimentos ofertados pela natureza, pouco consumindo alimentos industrializados e não aderindo a monotonia alimentar. Frutos de castanheiras, cruzeiros e sapucaieiras integram a dieta das comunidades tradicionais.

As amêndoas e castanhas são produtos visados pelas indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos, visto todos os benefícios que as mesmas possuem (LOPES DE ALMEIDA, 2023). As castanhas do Brasil e de cajú lideram a distribuição no Brasil, entretanto, estas não são as únicas castanhas consumidas no Brasil. Outras castanhas pouco convencionais, como a castanha de baru e castanha de sapucaia, têm conquistado espaço na preferência dos consumidores (POLMANN, 2021).

As castanhas da sapucaia pertencem à espécie *lecythis pisonis cambéss,* podendo ser encontradas tanto no território amazônico quanto no cerrado brasileiro (DE OLIVEIRA et al., 2023). O fruto pode ser redondo ou achatado, possuindo um pericarpo é firme e grosso e de cor marrom conhecido por ouriço. Quando maduro, o pé é liberado da parte inferior do ouriço ocasionando a queda das sementes no solo. As sementes são ricas em óleo podendo ser castanhas, amareladas ou brancas, podem ser consumidas cruas, cozidos ou assadas (DE OLIVEIRA et al., 2023). Quando comparado ao consumo de outras castanhas, castanha de caju e castanha do Brasil, nota-se quão pequeno é o consumo de sapucaia, tendo em vista que a mesma sequer pode ser encontrada em mercados de alimentos para aquisição (POLMANN, 2021).

Apesar de produzir frutos comestíveis, sapucaieira é vista com árvore ornamental, pois a mesma apresenta copo frondosa além de flores brancas ou rosas que exalam agradável perfume, seus ouriços firmes e espessos são visados como matéria-prima para artesanato (DOS SANTOS et al., 2023). Deste modo, o objetivo deste trabalho foi verificar

a atividade antioxidante de pães enriquecidos com farinha de sapucaia através do uso de diferentes solventes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta dos frutos foi realizada na cidade de São Luís no estado do Maranhão. Foram selecionados frutos de acordo com seu estágio de maturação, conservação e integridade. Os frutos passaram por higienização e sanitização e em seguida por descasque manual. Após o descasque as amêndoas foram armazenadas separadamente em embalagens de polietileno e então acondicionadas em freezer -18°C até a realização das análises.

As amêndoas foram trituradas em liquidificador industrial, em modo pulsar descontínuo, até a obtenção de material de aspecto granulométrico farináceo e homogêneo semelhante a farinha comercial. Foram desenvolvidas 03 formulações de pães, sendo duas formulações enriquecidas com amêndoa de sapucaia nas proporções de 25% e 50% de farinha de sapucaia em relação a quantidade de farinha de trigo.

Para determinação da atividade antioxidante, foram preparados extratos com três concentrações de solventes obtidos através da pesagem de 5g de amostra, adicionando-se 80mL solvente (metanol 50%, metanol 50% + acetona 50% e etanol) e mantendo em agitação por 1h. Posteriormente, cada extrato foi filtrado em papel filtro e em seguida conduziu-se à determinação de antioxidantes. Todo o procedimento foi conduzido na ausência de luz, e os extratos obtidos, serão armazenados em frascos âmbar e congelados até a realização das análises (RUFINO et al., 2010).

A atividade antioxidante pela redução do radical estável 2,2- di (4-t- octilfenil) -1-picrilhidrazila (DPPH.), foi determinada seguindo o método descrito por Brand Williams et al. (1995), com modificações segundo Rufino et al. (2007b). A atividade antioxidante avaliada quanto ao poder de redução do ferro, foi mensurada de acordo com o método de Rufino et al. (2006b). Os resultados foram expressos em µM de sulfato ferroso/g de amostra. A capacidade de redução do radical ABTS foi determinada segundo a metodologia proposta por Rufino et al. (2007a), sendo os resultados expressos em µmol de Trolox/ g de massa fresca.

Além da capacidade antioxidante foram determinados também os compostos fenólicos totais, utilizando a metodologia descrita por Waterhouse (2002), em espectrofotômetro digital a 750 nm. Os resultados serão expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG)/ 100g de amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão expressas as quantidades de ingredientes utilizados em cada formulação de pão, sendo que na formulação de PC (pão controle), não houve adição de sapucaia. Nas formulações P1 e P2, foram adicionadas, respectivamente, 25g e 50g de sapucaia. Por se tratar de uma formulação enriquecida não houve redução da quantidade original dos demais ingredientes, havendo apenas a adição de sapucaia nas formulações P1 e P2.

Tabela 1. Formulação de pães enriquecidos com farinha de amêndoa de sapucaia (g/100g).

Ingredientes	PC*	P1**	P2***
Farinha de sapucaia	0	25	50
Farinha de trigo	100	100	100
Açúcar cristal	2	2	2
Fermento biológico seco	1	1	1
Sal iodado	2	2	2
Água	60	60	60

*PC: pão controle; **P1: pão enriquecido com 25% de farinha de sapucaia; ***P2: pão enriquecido com 50% de farinha de sapucaia.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

O enriquecimento de alimentos é uma estratégia utilizada para conferir aos produtos alimentícios e suas preparações, características nutricionais e organolépticas que estes não possuem naturalmente. No Brasil, obrigatoriamente as farinhas de trigo e milho devem ser enriquecidas com ferro e ácido fólico, essa obrigatoriedade estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e implementada pela Resolução 344 de 2002, objetivou combater ocorrências fetais ocasionadas pela deficiência de ácido fólico durante a gravidez assim como a anemia. As farinhas foram escolhidas para fortificação tendo em vista a amplitude de consumo no Brasil.

Enriquecer alimentos consiste no processo de adicionar ao alimento ou a preparação um componente que originalmente não compõe a formulação do mesmo. Dessa forma, o enriquecimento não deve ser confundido com o processo de substituição de componentes, o qual consiste em reduzir o percentual de um ingrediente e adicionar ou aumentar o percentual de um outro componente. O processo de enriquecimento, apresenta vantagem sobre o processo de substituição visto que o processo de substituir ingredientes por vezes requer que o produto seja reformulado, pois a diminuição dos componentes originais e adição de novos ingredientes pode levar a alterações nos aspectos sensoriais. Além disso, o processo de substituição afeta outros aspectos dos produtos, como por exemplo, a presença de compostos antioxidantes que podem ser reduzidos ou aumentados pela adição de componentes diferentes nas formulações.

A atividade antioxidante nos alimentos é de extrema importância para a manutenção da saúde humana, uma vez que esses compostos contribuem para neutralizar os produtos do estresse oxidativo que ocorre naturalmente no corpo humano. Os compostos antioxidantes estão presentes em diversos alimentos, tais como frutas, vegetais e castanhas. Os antioxidantes são potenciais benfeitores da saúde, uma vez que os mesmos são capazes de proporcionar benefícios à saúde (BIANCHI; ANTUNES, 1999). Na Tabela 2, estão dispostos os resultados da atividade antioxidante de cada formulação de pão com e sem enriquecimento com amêndoa de sapucaia.

Tabela 2. Formulação de pães enriquecidos com farinha de amêndoa de sapucaia (g/100g).

Amostra	Solvente	DPPH	FRAP	ABTS	Fenólicos totais
PC	Metanol	28,54 ± 1,26	46,41 ± 1,07	7,16 ± 0,55	53,23 ± 0,23
P1		35,02 ± 1,49	48,03 ± 1,92	6,35 ± 1,00	58,08 ± 0,44
P2		36,04 ± 1,78	58,46 ± 1,84	6,23 ± 1,04	63,13 ± 0,76
PC	Metanol 50% + acetona 50%	33,45 ± 1,26	42,59 ± 1,07	12,97 ± 0,55	62,33 ± 0,23
P1		29,17 ± 1,49	40,03 ± 1,92	10,67± 1,00	58,16 ± 0,44
P2		31,15 ± 1,78	38,26 ± 1,84	9,93 ± 1,04	57,13 ± 0,76
PC	Etanol	38,54 ± 1,26	52,41 ± 1,07	11,15 ± 0,55	45,12 ± 0,23
P1		41,02 ± 1,49	50,03 ± 1,92	9,66 ± 1,00	42,13 ± 0,44
P2		45,04 ± 1,78	48,46 ± 1,84	8,89 ± 1,04	40,17 ± 0,76

Fonte: Próprio Autor, 2024.

O método DPPH indica a capacidade que um composto antioxidante presente no alimento analisado possui de reduzir o radical livre DPPH (GOODARZI et al., 2018). Enquanto isso, o método FRAP estima a capacidade que os antioxidantes presentes na amostra possuem de reduzir o íon férrico (Fe^{3+}) a íon ferroso (Fe^{2+}). Já o método ABTS determina a capacidade dos antioxidantes presentes na amostra em neutralizar o radical ABTS, gerado pela reação de oxidação entre o radical ABTS e um agente oxidante (GOODARZI et al., 2018). Além das análises de DPPH, FRAP e ABTS, a determinação da atividade antioxidante pode ser enriquecida com a determinação de compostos fenólicos totais no alimento.

A combinação dos métodos DPPH, FRAP, ABTS e determinação de fenólicos totais, é uma prática necessária para ampla visualização da atividade antioxidante nos alimentos, considerando que cada método explora a reação dos antioxidantes presentes nas amostras aos radicais utilizados nos métodos, sendo assim, mesmo que um alimento apresente baixa atividade antioxidante por um destes métodos, as demais metodologias podem corroborar a atividade antioxidante da amostra. Outra justificativa para a combinação dos métodos de determinação é a hipótese de que um alimento pode não ser capaz de reagir com o radical utilizado em método específico mas reage satisfatoriamente com o radical utilizado nas demais metodologias (BIANCHI; ANTUNES, 1999).

Houve variação entre todas as formulações de pão quanto a atividade antioxidante. Para as formulações de pão controle (PC), pão adicionado de 25% de sapucaia (P1) e o pão adicionado de 50% de sapucaia (P2), o etanol mostrou maior eficiência na extração de antioxidantes com potencial de redução do radical DPPH. Quanto a capacidade de redução do íon férrico (Fe^{3+}), o etanol mostrou maior eficiência tanto na amostra PC quanto na amostra P1, no entanto, para a amostra P2 (50%) o solvente metanol foi mais eficiente em extrair antioxidantes capazes de reduzir o íon férrico (Fe^{3+}) em íon ferroso (Fe^{2+}).

Quanto à capacidade de redução do radical ABTS, a amostra controle assim como as demais, apresentou baixa capacidade. Ainda assim, a solução de metanol 50% + acetona 50%, foi mais eficiente na extração de antioxidantes com capacidade de combater o radical ABTS. Quanto a determinação de compostos fenólicos totais, para as amostras PC e P1 a a solução de metanol 50% + acetona 50% mostrou melhor resultados quanto a

extração de compostos fenólicos, porém para a mostra P2, o solvente metanol obteve melhores resultados de extração.

A presença de compostos fenólicos nos alimentos, torna-os cobiçados pela indústria e pelos consumidores visto que a presença destes nos alimentos é associada a capacidade de combate a doenças crônicas, portanto, quanto maior o teor de fenólicos encontrado no alimento mais positivo o resultado (SANTOS et al., 2020).

Embora os solventes tenham sido eficientes para a determinação da atividade antioxidante das amostras, o trabalho de Rodrigues (2024) ressalta que valores 100 indicam que a atividade antioxidante da amostra está entre baixa e média, não podendo então o alimento ser considerado funcional quanto a atividade antioxidante. Já os trabalhos de Santos et al., (2020) e Martínez-Álvarez et al., (2019) apontam que alimentos que apresentam capacidade de redução do radical DPPH entre 60% e 90%, são considerados alimentos com alta capacidade de neutralizar radicais livres.

4. CONCLUSÃO

A determinação da atividade antioxidante das três formulações de pães foi eficiente com todos os solventes utilizados, no entanto, o solvente metanol obteve resultados superiores aos demais na maioria das formulações. Mesmo a determinação tendo sido eficiente, a atividade antioxidante determinada nos pães não foi suficiente para categorizá-los como alimentos funcionais, sendo assim, será necessária a determinação com outros solventes a fim de concluir se de fato a atividade antioxidante dos pães formulados é baixa ou se a mesma seria superior com uso de solventes pouco convencionais.

REFERÊNCIAS

[1] ALVES, E. DA S.; SILVA, L. A. DA; SAQUETI, B. H. F.; ARTILHA, C. A. F.; SILVA, D. DE M. B. DA; SOUSA, L. C. S. DE; SCAPIM, M. R. DA S.VISENTAINER, J. V. Proteínas vegetais como alimentos funcionais - revisão / Vegetable proteins as functional foods – review. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 5869–5879, 2020.

[2] BIANCHI, M. L.D. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. Revista de Nutrição, v. 12, n. 2, p. 123–130, 1999.

[3] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 344, de 13 de dezembro de 2002. Dispõe sobre o regulamento técnico para substâncias químicas e seus derivados. Diário Oficial da União, Brasília, 16 dez. 2002. Seção 1, p. 15.

[4] DE ALMEIDA, C. S.; CORDEIRO, S. A.; EUGÊNIO, F.; DE MACEDO, V. S. Sementes do Saber: Tradições Camponesas, Soberania Alimentar e Defesa da Agrobiodiversidade no Vale do Jequitinhonha. Cadernos de Agroecologia, 15(4). 2020.

[5] DE OLIVEIRA, Z. B; BENTES,F. N. C.; DA SILVA JÚNIOR, A. Q. Composição nutricional da castanha de Sapucaia (Lecythis pisonis Cambess), proveniente de Santarém–PA. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 23, n. 9, p. e13487-e13487, 2023.

[6] DOS SANTOS, M. E. R.; DA SILVA, C. J. M.; ROSADO, L. H. G.; DE ALMEIDA, C. M. S. Estudos dos parâmetros físico-químicos da manteiga da castanha sapucaia (lecythis pisonis cambess): uma abordagem inicial para aplicações cosméticas. 2023.

[7] GHENO A.M.; GEADICKE J.P.; MÜLLER L.; STOFFEL F.; BARBOSA R.G. Avaliação de atributos tecnológicos de pão francês com adição de farinhas de vegetais. Braz J Food Technol [Internet]. 2022

[8] GOODARZI, S.; RAFIEI, S.; JAVADI, M.; KHADEM HAGHIGHIAN, H.; NOROOZI, S. A review on antioxidants and their health effects. Journal of Nutrition and Food Security, v. 3, n. 2, p. 106-112, 2018.

[9] HERNANDEZ, M.; MARTINEZ, A. High pressure processing in food preservation: A review. In: LLORENS, A.; DELGADO, A. (orgs.). Advances in Food Processing Technologies. Cambridge: Academic Press, 2019.

[10] LOPES DE ALMEIDA, S.; SILVA FERREIRA, A.; PESSOA DE SOUSA, K.; PEIXOTO FERREIRA, F. G.; FREIRE DE SOUSA, D.; JALES DE HOLLANDA CELESTINO, J. Potencial biotecnológico do Caju (Anacardium Occidentale L.) Na produção De prebióticos E probióticos: Uma revisão. PERSP, p.61-68, 2023.

[11] OLIVEIRA, A. R. DE. Comida e aspectos simbólicos na perspectiva de políticas públicas para o cumprimento do Direito Humano à Alimentação Adequada e Saudável. Segurança Alimentar E Nutricional, 27, 2020.

[12] POLMANN, G.; BADIA, V.; DANIELSKI, R.; FERREIRA, S. R. S.; BLOCK, J. M. Non-conventional nuts: An overview of reported composition and bioactivity and new approaches for its consumption and valorization of co-products. Future Foods, 4, 2021.

[13] RODRIGUES, A. R. D. S. P. Potencial antioxidante, antimicrobiano, anti-inflamatória e antifúngica da Anacardium occidentale (Linn): Revisão de literatura. Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas, v. 52, n. 1, 2023.

[14] RUFINO, M. DO S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. DE.; MORAIS, S. M. DE.; SAMPAIO, C. DE G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2006b.

[15] RUFINO, M. DO S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. DE; MORAIS, S. M. DE; SAMPAIO, C. DE G.; PÉREZ - JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTSº+. Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2007a.

[16] RUFINO, M. DO S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. DE; MORAIS, S. M. DE; SAMPAIO, C. DE G.; PÉREZ - JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2007b.

[17] RUFINO, M. DO S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. DE; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. Food chemistry, v. 121, n. 4, p. 996- 1002, 2010.

[18] RUFINO, M. DO S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. DE.; RAIS, S. M. DE.; SAMPAIO, C. DE G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). Embrapa Agroindústria Tropical Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2006a.

[19] SANTOS, J. A. M.; XAVIER, B. L. de C.; SILVA, F. G. da; BORDIN, C. C. D.; CARDOSO, C. G. L. do V.; PASSOS, X. S.; SILVA, N. M. Covid 19 e o Brasil no caminho de volta ao mapa da fome. Brazilian Journal of Health Review, 5(6), 24386–24394, 2022.

[20] SEBRAE. Tecnologia e inovação na panificação e confeitaria. Brasília: SEBRAE, 2017.

[21] SILVEIRA, T. F. V. DA .; VIANNA, C. M. DE M.; MOSEGUI, G. B. G.. Brazilian legislation for functional foods and the interface with the legislation for other food and medicine classes: contradictions and omissions. Physis: Revista de Saúde Coletiva, v. 19, n. 4, p. 1189–1202, 2009.

[22] WATERHOUSE, A. L. Determination of Total Phenolics. Foot & Ankle International, 2003.

ÍNDICE REMISSIVO

Acidez
Açúcares prebiotocos
Alta pressão
Amido de babaçu
Antinutricionais
Biocatalisadores
Biofilmes
Compostos fenólicos
Conservantes sintéticos
Conservantes sintéticos
Embalagens de polietileno
Farinhas
Fermantação
Guapeva
Hibisco
Hidrolisado proteico
Homogeneização
Impressão 3D
Jaboticaba
Leveduras não-saccharomyces
Listeria monocytogenes
Maçã
Óleos
Oleos essenciais
Oxidação lipídica
Panificação
pH
Prébioticos
Produtos vegetais
Rambutan
Residuas da pesca
Revestimentos comestíveis
Rotulagem nutricional
Sapucaia
Solventes
Subprodutos
Teor acolico
Transfrutosilação
Uva

Autores

Abigail Lima de Oliveira

Acadêmica do curso de nutrição da Universidade Federal do Tocantins.

Alex Fernando de Almeida

Laboratório de Biotecnologia, Análise de Alimentos e Produtos, Doutor em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada), Pesquisador e Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos – PPGCTA, Docente do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Fundação Universidade Federal do Tocantins – UFT, Gurupi, Tocantins, Brasil.

Alice Reis Figueiredo

Engenheira de alimentos pela Universidade Federal do Tocantins, mestranda do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Antonio José de Sousa Caminha

Possui graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Estadual do Tocantins (1999). Atualmente é professor substituto da Fundação UNIRG e Gerente de Inspeção Animal da Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Tocantins. Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins, atuando principalmente no seguinte tema: água tratada, agroindústria, contaminantes e saúde pública.

Camila Mariane da Silva Soares

Doutoranda em Ciências dos Alimentos pelas Universidade Federal de Lavras (2020), atuando em projetos sobre a aplicação de técnicas de extração de compostos bioativos com ênfase em frutas nativas do Brasil e aproveitamento de seus co-produtos, utilizando solventes verdes como tecnologias ambientalmente limpas e extração assistida por ultrassom (UEA). E encapsulação destes compostos bioativos utilizando as técnicas envolvendo spray dryer e spray chilling. Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2019), desenvolvendo pesquisas nas linhas de Desenvolvimento de novos produtos, com ênfase na produção de geleias envolvendo a qualidade nutricional e sensorial advindos de frutos do cerrado. Com a finalidade na aplicação de conhecimentos em ciências químicas em destaque na área de bromatologia, otimização de processo e extração de compostos bioativos. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Laboro (2018), graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2016) e Tecnóloga em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Fundação Universidade do Tocantins (2009). Grande capacidade de trabalho em equipe para pesquisa e aprendizagem rápida.Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Engenharia de Alimentos,

atuando nas áreas de Desenvolvimento de Novos Produtos, Tecnologia de Frutas e otimização de processos.

Caroline Roberta Freitas Pires

Possui graduação em Nutrição pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), 2007. Mestrado (2009) e Doutorado (2012) em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras. Atualmente é professora da Universidade Federal do Tocantins. Tem experiência na área de Nutrição e na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em desenvolvimento de novos produtos, análise sensorial de alimentos e conservação de alimentos.

Clarissa Damiani

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Goiás (2003), especialização em Tecnologia e Qualidade de Alimentos Vegetais (2005) e Processamento e Controle de Qualidade em Leite, Carne e Ovos (2008), mestrado (2006) e doutorado (2009) em Ciências dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Avaliação e Controle de Qualidade de Alimentos, atuando, principalmente, nos seguintes temas: tecnologia de alimentos, pós-colheita de frutas e hortaliças, análises físicas, químicas e bioquímicas de alimentos, aproveitamento de resíduos/co produtos agroindustriais e frutos do Cerrado.

Claudia Cristina Auler do Amaral Santos

Cursou Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), fez mestrado e doutorado em Microbiologia Agrícola na Universidade Federal de Lavras (UFLA), este último, com período sanduíche em Guadalajara, México no Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Foi coordenadora do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da UFT, Campus de Gurupi entre 2014 e 2016. Atualmente é Professora no curso de Engenharia de Alimentos e membro do corpo permanente dos Programas de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT), ambos da UFT. É diretora de Inovação e Transferência de Tecnologia da Agência de Inovação da UFT, a Inovato. Atua principalmente nos seguintes temas: microbiologia industrial e de alimentos, identificação de microrganismos por técnicas convencionais e moleculares, processos fermentativos espontâneos e industriais, bioquímica e fisiologia de microrganismos, desenvolvimento agroindustrial, proteção de propriedade intelectual, gestão da inovação.

Déborah Lorrany Pereira Galvão

Acadêmica do Curso de Nutrição, Centro Universitário ITOP-UNITOP, Palmas, Tocantins, Brasil.

Domynique Batista Barbosa

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Douglas Martins da Costa

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Tocantins-UFT (2005), pós-graduação lato sensu em Gestão e Planejamento Ambiental na Faculdade ITOP (2010), mestrado em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins-UFT (2015). Atualmente trabalha como Biólogo na Universidade Federal do Tocantins-UFT, lotado no laboratório de Análises de Alimentos. Tem experiência em práticas como análises bromatológicas, bioquímica, química analítica, meio de cultura, microscopia, histologia e em fermentação alcoólica.

Eduardo Ramirez Asquieri

Possui graduação em Industrias Alimentarias - Universidad Nacional Agraria de La Selva (1982)-Perú, Mestrado em Ciências de Alimentos pela Universidade Federal de Lavras (1990)-Brasil e Doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1994)-Brasil. Professor Titular da Universidade Federal de Goiás desde 1995. Membro da Comissão de Avaliadores Institucionais e de Curso MEC/INEP e par Avaliador ARCOSUL-MERCOSUL. Ministra as disciplinas de Química e Bioquímica de Alimentos e Tópicos especiais em alimentos. Professor de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFG/EA, ministra as disciplinas de Química de Carboidratos e Análise de Alimentos. Com experiência em Aproveitamento de Subprodutos e tecnologia de novos produtos, atuando principalmente nos seguintes temas: produtos fermentados, açúcares e produtos açucarados, enzimas alimentícias, alimentos funcionais, antioxidantes, frutas e hortaliças, especialmente utilizando o bioma do cerrado brasileiro. Avaliador ad hoc de várias revistas científicas com ênfase em alimentos. Editor associado do periódico Brazilian Journal of Food Technology (BJFT) ISSN- 1806-2563. Pós-Doutor na USDA-ARS-WRRC (United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service-Western Regional Research Center) dos Estados Unidos em Albany, Califórnia.

Elisangela Santos Reis de Oliveira

Mestranda em ciências e tecnologia de Alimentos pela universidade Federal do Tocantins (2023)Possui graduação em Engenharia de alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2012). Atualmente é docente - SENAR Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: temperatura, calor específico, nitrato, nitrito, babaçu e concentração de gordura.

Emerson Adriano Guarda

Possui graduação em Química Industrial - Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Maria (1997), mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001) e Doutorado em Química Orgânica pela Universidade Federal de Santa Maria (2009). Atualmente é professor associado da Universidade Federal do Tocantins (UFT), onde atua no curso de

Engenharia Ambiental no mestrado em Agroenergia e no doutorado em Biotecnologia. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Orgânica, atuando principalmente nos seguintes temas: líquidos iônicos, síntese orgânica, química ambiental e biocombustíveis.

Fábio Salles de Arévalo

Graduado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2021).

Gabriela E. Lacerda

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Gabriela Fonseca Leal

Doutoranda em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), com formação acadêmica em Engenharia de Alimentos e Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e Vigilância Sanitária e Qualidade dos Alimentos. Atuo no desenvolvimento de pesquisas inovadoras voltadas à caracterização química, antinutricional e físico-química de alimentos, com ênfase em processos de extração utilizando solventes eutéticos, além da elaboração de novos produtos alimentares, com foco na qualidade nutricional, sensorial e segurança alimentar. Minha experiência inclui participação ativa no Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LaCiMP-UFT) e no grupo de pesquisa Modelagem, Cinética e Avaliação de Sistemas Alimentares e Biotecnológicos, onde desenvolvo projetos que visam a otimização de processos industriais e a vida útil de prateleira de frutos exóticos.

Geovana Marinho do Prado

Graduanda do curso de Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Técnica em Agronegócio pelo Instituto Federal do Tocantins (IFTO). Membro do Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LaCiMP), desenvolvendo projetos de Iniciação Científica com óleos fixos oriundos de frutos da Amazônia Legal brasileira e Extratos hidroalcoólicos de subprodutos da uva e jabuticaba.

Glêndara Aparecida de Souza Martins

Possui Graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2007) e Graduação em Matemática pelo Centro Universitário Claretiano (2014), Mestrado em Ciências dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras (2009) e Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins (2014). Possui Pós Doutorado pelo Institut Agrocampus Ouest (França) com ênfase em Ciência e Tecnologia do Leite e do Ovo. Atua como coordenadora no grupo de pesquisa Modelagem Cinética e Avaliação de Sistemas Alimentares e Biotecnológicos (UFT), visando o aproveitamento integral de frutos nativos do Cerrado e da Amazônia Legal. Atualmente é professora associada do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins e é membro permanente do Programa de Pós Graduação em Ciência

e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins e do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia (PPG-BIONORTE), atuando nas áreas de desenvolvimento de novos produtos, bioprospecção de compostos bioativos, métodos verdes de extração, aproveitamento de resíduos oriundos da agricultura familiar e biotecnologia de alimentos. Coordenadora do Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LACIMP) (2009 atual), onde orienta alunos de graduação (TCC e iniciação cientifica), mestrado e doutorado, e supervisiona bolsista de pós-doutorado. Dentre as atividades administrativas destaca-se a atuação como Vice Diretora do Câmpus de Palmas (2021 atual), atuando também como Vice - Coordenadora do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA UFT) (2017 - 2022) e é Coordenadora de Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos (2021 atual). É membro do comitê interno do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC-CNPq/UFT e do Comitê de Avaliação de Propriedade Intelectual (COAPI UFT). Publicou vários artigos em revistas especializadas de renome nacional e internacional, é revisor Ad Hoc de periódicos científicos nacionais e internacionais, e participa de inúmeros projetos de pesquisa e de cooperação, nacional e internacional. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em processos cinéticos, tecnologia de frutas, compostos bioativos, obtenção de novos ingredientes utilizando tecnologias limpas, estudo de matérias-primas nativas inexploradas da biodiversidade brasileira e desenvolvimento de novos produtos.

Guilherme Borges Ferreira

Doutor e Mestre em Sociologia pela Universidade de São Paulo (USP) e Bacharel em Ciências Sociais pela mesma instituição. Pesquisador do projeto "Nonreligion in a Complex Future", vinculado à Universidade de Ottawa, e do Projeto Temático "Pluralismo Religioso e Diversidades no Brasil Pós-Constituinte" (Processo FAPESP: 2021/140386). Participa também do grupo de pesquisa "Diversidade Religiosa na Sociedade Secularizada", vinculado ao CNPq. Desenvolve pesquisas nas áreas de Sociologia da Religião e Antropologia da Religião, analisando estratégias de ação pública adotadas por lideranças católicas e evangélicas. Atua principalmente com as seguintes temáticas: ideários conservadores, direitos reprodutivos e mobilizações político-religiosas.

Janeisi de Lima Meira

Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas pela Universidade Federal do Pará (2018), Mestre em Educação em Ciências e Matemáticas pela Universidade Federal do Pará (2012), possui graduação em Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade do Estado do Pará (2008), graduação em Licenciatura Plena em Letras pela Universidade Federal do Pará (2009). Tem experiência, com ênfase em Educação Matemática no ensino de matemática e língua portuguesa nos ensinos Básico e Superior. Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no Cursos de Matemática e nos Programas de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Saúde, e ProfMat. É Líder do Grupo de Estudos e Pesquisas em Educação Matemática na Formação de Professores - GEPEMFOR/CUAR/UFT.

Jucimara Silva

Mestranda em ciências e tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2023). Possui graduação no curso de bacharelado em Agroindústria pela Universidade Federal de Sergipe (2022). Possui Pós-graduação em Vigilância Sanitária e Qualidade dos Alimentos/ Universidade Pitágoras Unopar (2024). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: Realização de análises físico químicas de produtos alimentícios, Desenvolvimentos de novos produtos alimentícios a base de pescado e resíduos de pescado e Aplicação de análises sensoriais de alimentos.

Juliana Kossmann Barbosa

Graduada em Nutrição pela Faculdade ITOP (2023).

Joicy Silva e Silva

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Kalil G. Kanuto

Discente curso de ciência da computação da Universidade Federal do Tocantins.

Kariny Oliveira da Silva

Acadêmica do curso de medicina veterinária da Universidade Federal do Norte do Tocantins.

Kauã M. de Oliveira

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Leticia da Costa Matos

Acadêmica de Nutrição pelo Centro Universitário UNITOP, ano de conclusão: 2025. Bolsista de Iniciação Científica FAPT do projeto intitulado "Avaliação da aceitabilidade de produtos alimentícios produzidos com baixo teor de açúcar: uma abordagem integrada entre os aspectos psicológicos, nutricionais e a análise sensorial".

Lorena Limão Vieira dos Santos

Doutorado e mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e graduação em Engenharia de Alimentos (UFPA). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em conservação de alimentos e Tecnologia de Produtos de Origem Animal. Possui experiências em físico-química de alimentos, análise sensorial, condições higiênico-sanitárias, reaproveitamento de resíduos da indústria de pescados, elaboração de filmes/revestimentos biodegradáveis e estudo de extrato vegetal amazônico. Certificada como Auditora Interna nas normas ISO

22000:2018, FSSC 22000 para Indústrias de Alimentos e nas normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001 e com ampla experiência na aplicação das Boas Práticas de Fabricação (BPF) em Unidades de Alimentação e Nutrição. Atualmente é professora substituta do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Campus Paraíso.

Luiz Sinésio Neto

Possui Pós Doutorado pela Universidade Federal do Tocantins, Doutorado em Ciências e Tecnologia em Saúde-UNB-DF, Mestrado em Gerontologia-UCB-DF, Especialização em Gerontologia- UFT-TO, Especialização em Fisiologia do Exercício Aplicada à Clínica-UNIFESP, graduação em Educação Física. É professor Adjunto da Universidade Federal do Tocantins do curso de Medicina onde coordena as disciplinas, Saúde do Idoso, Nutrologia e participa da Comissão de TCC. Coordena e é docente do programa "Universidade da Maturidade-UMA" na Universidade Federal do Tocantins. É professor efetivo dos Mestrados em Ensino em Ciência e Saúde e Saúde da Família da Universidade Federal do Tocantins. Líder do grupo de pesquisa: Progero- Envelhecimento Humano. Presidente da Associação Brasileira de Alzheimer-Seccional Tocantins. Membro do conselho fiscal da Sociedade Brasileira de Gerontecnologia. Participa da comissão organizadora do Simpósio Brasileiro de Biologia Muscular Autor de artigos científicos e livros na área da gerontologia. Atua nas áreas de pesquisas: Efeito do treinamento resistido na saúde dos idosos, Alterações de composição corporal e envelhecimento, Sarcopenia, Obesidade Sarcopênica, Qualidade de Vida, Avaliação funcional no idoso, Envelhecimento e Gerontologia. Recebeu o título de Cidadão Tocantinense (2020).

Maria de Morais Lima

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins. Formação pedagógica em Química pelo Centro Universitário Faveni. Especialização em Ciência dos Alimentos (Tecnologia de Frutas e Hortaliças) pela Universidade Federal de Pelotas; Especialização em Docência no Ensino Superior pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Sergipe. Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas. Desempenhou a função de docente nas áreas de Ciência e Tecnologia de Alimentos e Química, com ênfase principalmente nos seguintes temas: tecnologia de carnes e pescados, tecnologia de frutas e hortaliças, tecnologia de leite e derivados, tecnologia de bebidas, controle de qualidade, higiene e legislação de alimentos, matérias-primas alimentícias, tecnologia e processamento de produtos de origem animal; além de química (geral e orgânica), bioquímica (geral e de alimentos), pré-cálculo e expressão gráfica (desenho técnico).

Maria Eduarda Silva Motta

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Maria Luciana Barbosa Mendes

Nutricionista pela Universidade Federal do Tocantins. Professora convidada do Curso de Nutrição da Universidade Federal do Tocantins-UFT. Especialização em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Faculdade Unyleya. Agente do Programa Nacional de Alimentação Escolar-PNAE pelo Centro Colaborador em Alimentação e Nutrição Escolar-CECANE UFT. Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Maria Olivia dos Santos Oliveira

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2017), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2019) e doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Goiás (2024).

Maximilian J. Hodapp

Formado em Engenharia Química pela Universidade Regional de Blumenau (FURB) em 2006, com Mestrado em Engenharia Química na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Doutorado Sandwich na UNICAMP e na Ruhr Universität Bochum (RUB) - Alemanha, com ênfase na modelagem e simulação em escoamentos multifásicos reativos resolvidos por Fluidodinâmica Computacional (CFD). Pós Doutorado no Laboratório de Fluidodinâmica Computacional da FURB e no IWT da Universität Bremen - Alemanha, sobre modelagem e produção de nanopartículas em sprays. Pós Doutorado junto ao Laboratório de Análises Numéricas e Sistemas Dinâmicos da Universidade Federal de Rio Grande (FURG) sobre modelagem de estruturas turbulentas persistentes e da conversão energética de correntes na plataforma continental Sul brasileira. Atualmente é professor permanente do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI.

Michelle C. A. da Cunha Xavier

Docente do Magistério Superior do Curso de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal do Tocantins (UFT). Docente do Magistério Superior do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na UFT (2018-2022). Doutora (2016) e Mestre (2011) em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP e Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins-UFT (2007). Atuou como Vice-coordenadora (2019-2020) e Presidente do Núcleo Docente Estruturante do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da UFT (2019-2021). Realizou parte do Doutorado como Visiting Scholar Student na University of California-Berkeley (UCB-USA) no Energy Biosciences Institute (EBI) (2014/2015) trabalhando na modificação genética de levedura oleaginosa, superexpressão de genes e biologia molecular visando melhorar o acúmulo de lipídio pela levedura. Atualmente é Coordenadora do Laboratório de Bioprocessos e Catálise (LABIC) da Universidade Federal do Tocantins (UFT) e Coordenadora de Extensão e Cultura da UFT. Atua na área de biotecnologia/sustentabilidade com produção lipídios a partir do bagaço de cana-de-açúcar para produção de biocombustíveis; na utilização de biomassa lignocelulósica, principalmente a fração hemicelulósica, para a produção de produtos de valor agregado

como ácido lático e na engenharia metabólica da levedura oleaginosa Lipomyces starkeyi para o aumento da produção de lipídios; na produção e imobilização de enzimas com ênfase na obtenção de frutosiltransferase (FTase) a partir de Aspergillus oryzae IPT-301 para produção de FOS (frutooligossacarídeos). Experiência no seguintes temas: Bioconversão de xilose, fermentação, microbiologia, utilização de hemicellulose para produção de substâncias de valor agregado, pré-tratamento de biomassa lignocelulósica, produção de ácido lático por Lactobacillus, levedura oleaginosa, produção de lipídios por levedura oleaginosa, engenharia metabólica, modificação genética de levedura, superexpressão de genes.

Nayane Teixeira Pereira

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Patricia Martins Guarda

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria (1997), mestrado em Química pela Universidade Federal de Santa Maria (2000) e doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia pela Rede BIONORTE- Universidade Federal do Tocantins (2020). Atualmente é professor adjunta da Universidade Federal do Tocantins do curso de Engenharia de alimentos e coordenadora analítica do LAPEQ Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e Biocombustíveis da UFT. Tem experiência na área de Química, com ênfase no Ensino de Química, e Química Analítica, atuando principalmente na área de análise de contaminantes ambientais e contaminantes nos alimentos.

Rafael F. Perna

Engenheiro químico graduado pela Universidade Estadual de Maringá (UEM-PR/ 2007); Mestre em engenharia química na área de Desenvolvimento de Processos Biotecnológicos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP/ 2010); Doutor em engenharia química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP/ 2013) na área de Bioprocessos com período sanduíche no Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH/ Zurique/ Suíça / 2012). Atualmente, professor Classe C Adjunto 4 do Instituto de Ciência e Tecnologia e Coordenador do Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Engenharia Química (PPGEQ/ 2023-2025) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG, Campus Poços de Caldas).

Rafaela Julyana Barboza Devos

Engenheira de Alimentos formada pela Universidade de Passo Fundo. Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade de Passo Fundo. Especialista em Docência do Ensino Superior. Especialista em Tecnologia Digital para a Educação. Especialista em Gestão da Qualidade. Especialista em Bioquímica do Exercício pela Faculeste. Especialista em Tutoria e Docência do Ensino Superior pela Faculdade Iguaçu. Professora das disciplinas de Bioquímica, Bromatologia, Tecnologia de Alimentos e Higiene e Inspeção Sanitária de Alimentos no Centro Universitário UNITOP. Pesquisadora orientadora de Projetos de Iniciação Científica financiados pelo Programa Institucional de Iniciação

Científica SEFAZ/FAPT/PIBIC/2024-2025, intitulados "Avaliação da aceitação sensorial de produtos desenvolvidos com baixo teor de açúcar e ingredientes do cerrado brasileiro" e "Estudo da influência da nova rotulagem nutricional na rotina de uma amostra de universitários brasileiros e a relação com as doenças crônicas não transmissíveis". Pesquisadora orientadora de Projetos de Iniciação Científica financiados pelo Programa Institucional de Iniciação Científica SEFAZ/FAPT/PIBIC/2023-2024, intitulados "Um estudo de estilo de vida e comportamento alimentar de universitários tocantinenses" e "Estudo de levantamento de indicadores de saúde de uma parcela da população com obesidade em acompanhamento nutricional da cidade de Palmas/TO". Pesquisadora Co-orientadora do Projeto de Iniciação Científica "Relação entre os níveis de atividade física e a percepção de estresse dos estudantes do Centro Universitário ITOP". Orientadora do Projeto de TCC intitulado "Influência da nova rotulagem nutricional na rotina dos consumidores brasileiros" pelo Curso de Nutrição/UNITOP. Atuou como bolsista CAPES Modalidade I no Laboratório de Bioquímica e Bioprocessos na linha de pesquisa de Processos Biotecnológicos e não Convencionais na Produção de Alimentos e Ingredientes. Atuou como Bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Trigo no Laboratório de Pós-Colheita realizando pesquisas em Métodos Rápidos para Avaliar Indicadores de Qualidade Tecnológica e Contaminantes em Grãos. Atuou como bolsista PIBIC/UPF no Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação. Tem experiência na área de Processos Biotecnológicos, Análises de níveis de micotoxinas em trigo e derivados, através dos métodos rápidos de detecção: ELISA, infravermelho próximo (NIR) e NIR associado a imagens hiperespectrais; além da área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal, principalmente trigo e milho, operações de pós-colheita, controle de qualidade, processos tecnológicos, moagem, estabilidade ao armazenamento e produtos de panificação.

Renata Junqueira Pereira

Possui Graduação em Nutrição pela Universidade Federal de Ouro Preto (2003), Especialização em Nutrição Humana e Saúde pela Universidade Federal de Lavras (2004), Mestrado em Ciência da Nutrição pela Universidade Federal de Viçosa (2005) e Doutorado em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras (2011). É Professora Associada I da Universidade Federal do Tocantins, vinculada ao Curso de Nutrição. Docente do Programa de Mestrado em Ciências da Saúde e da Pós-Graduação Lato-Sensu em Saúde Pública, em parceria com a Fiocruz. Tem experiência na área de Nutrição, com ênfase em Nutrição e Saúde de Grupos Populacionais (materno-infantil e idosos), Fitoquímica e aplicação de fitoterápicos nas DCNT.

Romilda Ramos da Silva

Possui técnico em Agroindústria pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (2016). Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2021) e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal do Tocantins (2023). É integrante do Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos da Universidade Federal do Tocantins. Desenvolve pesquisas com foco no aproveitamento de frutos do Cerrado. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de alimentos, com ênfase em Desenvolvimento de Novos Produtos.

Romulo Alves Morais

Possui Graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2018), Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (2020) e Doutorado em Ciência de Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina (2024). Atualmente atua como Pesquisador de Pós - doutorado pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), no Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LACIMP). Faz parte da equipe do Laboratório de Óleos e Gorduras (LOG - UFSC), atuando em projetos sobre a contextualização e aplicação de técnicas emergentes com ênfase em frutas nativas do Brasil e aproveitamento de seus coprodutos, utilizando tecnologias ambientalmente limpas, como extração com fluído supercrítico (SFE), extração com líquidos pressurizados (PLE), extração com água supercrítica (SWE), extração assistida por micro-ondas (MAE), extração de compostos bioativos e simulação da digestão gastrointestinal in vitro (INFOGEST). Atua como pesquisador no grupo de pesquisa Modelagem Cinética e Avaliação de Sistemas Alimentares e Biotecnológicos (UFT), desenvolvendo projetos sobre a inserção de alimentos oriundos da agricultura familiar e agroindústria visando a qualidade nutricional e sensorial, bem como segurança e vida de prateleira, além de geração de renda para micro e pequenos agricultores. Atua em parceria com diversos professores orientando alunos de graduação e pós-graduação na área de valorização de subprodutos agroindustriais visando a obtenção sustentável de ingredientes aplicáveis em alimentos e cosméticos. Atua como membro permanente do Grupo de pesquisa Lipídios Bioativos (LIBIO) cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (UFSC). Faz parte da direção da Sociedade Brasileira de Óleos e Gorduras (SBOG), biênio 2022 - 2024. Publicou vários artigos em revistas especializadas de renome nacional e internacional, é revisor Ad Hoc de periódicos científicos nacionais e internacionais. Facilidade na aplicação dos conhecimentos adquiridos através das ciências químicas, físicas, biológicas e matemáticas, com maior ênfase na área de bromatologia, otimização de processos, e tecnologia de óleos e gorduras. Linhas de pesquisa: química dos alimentos, nutrição, métodos de extração, compostos bioativos, métodos cromatográficos (HPLC, CG, LC MS/MS, ICP-OES), química verde, solventes alternativos, meio ambiente, aproveitamento de resíduos, desenvolvimento de materiais avançados, tecnologia supercrítica, métodos de digestão in vitro, frutos nativos do Cerrado e Amazônia, estudo de matérias-primas oleaginosas inexploradas da biodiversidade brasileira, oxidação e estabilidade de óleos e gorduras, vida de prateleira dos alimentos. Grande capacidade de trabalho em equipe para pesquisa e aprendizagem rápida. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos e Engenharia de Alimentos, com ênfase em Ciência dos Alimentos.

Roseline Soares Sousa

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Sergio A. V. Morales

Engenheiro Químico (Universidad Industrial de Santander-Colômbia-2008), Mestre (UNICAMP-2011) e Doutor (UNICAMP-2016) em Engenharia Química. Atualmente, é Professor Adjunto do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins (UFT) e dos Programas de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFT) e de Engenharia Química (UNIFAL). Tem experiência na execução de projetos de

pesquisa acadêmicos e em colaboração com a indústria química. Atua nas áreas de Catálise Heterogênea, Engenharia das Reações Químicas, Engenharia de Bioprocessos, Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, aplicadas principalmente ao projeto de Reatores Químicos e Biorreatores e na síntese de Catalisadores e Biocatalisadores.

Valéria P. da Silva

Discente curso de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Vitória Cristian Carneiro Santos

Estudante de graduação do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins. Foi bolsista de iniciação científica entre os anos de 2023-2024, desenvolvendo um projeto visando o aproveitamento e valorização de frutos nativos da Amazônia Legal e Cerrado. Atualmente é bolsista de iniciação científica (CNPQ) vinculada ao Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos (LaCIMP) da Universidade Federal do Tocantins. Atualmente é diretora de Pesquisa e Extensão do Centro Acadêmico de Engenharia de Alimentos, atuando nos debates sobre melhorias e incentivo à pesquisa na Universidade. Facilidade na aplicação dos conhecimentos adquiridos através das ciências químicas, físicas, biológicas e matemáticas, com maior ênfase na área de bromatologia, otimização de processos e análises de compostos bioativos, solventes alternativos, aproveitamento de resíduos, frutos nativos do Cerrado e Amazônia. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos e Engenharia de Alimentos, com ênfase em Ciência dos Alimentos.

Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues

Graduado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) em 2024. 1 ano e seis meses de experiência no Programa de Educação Tutorial (PET), desenvolvendo habilidades em gestão de projetos acadêmicos e de extensão. Atuou como voluntário no Programa Institucional de Inovação Pedagógica (PIIP) e bolsista em 2024. Foi bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) em 2023 pela UFT e do CNPq em 2024, conduzindo o projeto de iniciação científica "Contaminação por Agrotóxicos e Potabilidade da Água de Poços Artesianos no Projeto Agrícola São João, Porto Nacional-TO." Integrou o Núcleo de Estudos, Pesquisa e Extensão em Agrotóxicos (NEPEA-UFT), onde contribuiu ativamente para pesquisas e ações relacionadas à segurança alimentar e qualidade da água.

Warley G. da Silva

Prof. no Curso de Graduação em Ciência da Computação, Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação e no Mestrado Profissional em Matemática na Universidade Federal do Tocantins (UFT), com graduação em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO pela Universidade Federal do Tocantins (UFT, 2006), especialização em INFORMÁTICA EM SAÚDE pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP, 2010), mestrado em COMPUTAÇÃO pelo Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (IC - UFF, 2008), doutorado em ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE - UFRJ,

2013), pós-doutorado em COMPUTAÇÃO pelo Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires na França (IRISA, 2016). Tem experiência na área de Ciência da Computação Aplicada, com ênfase em Algoritmos e Otimização.

Yuri Vinicius da Silva

Engenheiro de alimentos pela Universidade Federal do Tocantins, Pós-graduado em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins.

Zilda Doratiotto de Salles Arevalo

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1983) e mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (2000) e possui doutorado em biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins (2016). Atualmente é professor adjunto II da Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: processamento, babaçu, propriedades termofísicas, desenvolvimento de novos produtos, bebidas lácteas probióticas, aproveitamento de resíduos alimentícios e análises químicas e físicas e microbiológicas de alimentos.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson